

ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL DE LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS EN LA CONSTRUCCIÓN



**Autora: Verónica Rivero Nogueiras
Tutora: Dña. M^a Cruz Iglesias Martínez
Universidade da Coruña
Julio 2016**

**“El planeta ofrece cuanto el ser
humano necesita, pero no cuanto
el ser humano codicia”**

Mahatma Gandhi

RESUMEN

Recientemente, ha crecido la preocupación por la conservación del medioambiente, no solo en lo que se refiere a la gestión de los residuos, sino que se está teniendo en cuenta en todo el ciclo de vida de los productos y servicios. Partiendo de esta premisa, se ha realizado una recopilación lo más pormenorizada posible de cada uno de los aislamientos térmicos empleados actualmente en la construcción residencial.

La composición, procesos de fabricación, impactos medioambientales y valorización son aspectos que debemos tener en cuenta como técnicos, sin dejar de lado, por supuesto, las características técnicas a la hora de planificar una obra. A través de distintas fuentes bibliográficas y poniéndome en contacto con los fabricantes de cada material aislante se ha recogido toda la información acerca de estos aspectos que debemos considerar para construir viviendas respetuosas con el medio ambiente y sanas para las personas que las habiten.

A medida que se avanza con esta información también interesa conocer las distintas propiedades de los aislamientos (físicas y mecánicas) para llegar a una decisión final en su empleo dependiendo de las circunstancias en que nos encontremos y evitar así grandes gastos en climatización. Mediante la consulta de bases de datos como Five o ITeC, los fabricantes y normas UNE de los diferentes materiales, además de otras generales, se ha podido hacer una evaluación pormenorizada de cada una de las características como son la conductividad térmica, la densidad, resistencia a la difusión de vapor de agua o calor específico, comparando cada material en función de estos valores.

Así con toda la información adquirida se podrá no solo considerar los materiales en la planificación de la obra, sino también a lo largo de la vida útil del edificio y cuando ésta finalice. Intentando, de esta forma, hacer que las edificaciones causen daño cero al medio ambiente y conseguir convertir los residuos en alimentos que den lugar a nuevos materiales tan respetuosos con la naturaleza en que vivimos como las raíces de las que provienen.

PALABRAS CLAVE

Aislamiento térmico, aislantes naturales, medio ambiente, aislar convenientemente, salud

ABSTRACT

Recently, it has grown the worry by the conservation of the environment, not only regarding the management of the waste, but it is taking into account in all the cycle of life of the products and services. Splitting of this premise has realised a compilation the most detailed possible of each one of the thermal isolations employees at present in the residential construction.

The composition, processes of manufacture, environmental impacts and valorisation are appearances that have to take into account like technicians, without shelving, of course, the technical characteristics to the hour to schedule a work. Through distinct bibliographic sources and putting me in contact with the manufacturers of each insulating material has collected all the information about these appearances that have to consider to build respectful houses with the environment and healthy for the people that inhabit them.

To measure that advances with this information also interests to know the distinct properties of the isolations (physical and mechanical) to arrive to a final decision in his employment depending on the circumstances in that we find us and avoid like this big expenses in air conditioning. By means of the query of databases like Five or ITeC, the manufacturers and norms UNE of the different materials, in addition to other general, has been able to do an evaluation detailed of each one of the characteristics as they are the thermal conductivity, the density, resistance to the diffusion of steam of water or specific heat, comparing each material in function of these values.

Like this with all the information purchased will be able to not only consider the materials in the planning of the work, but also along the useful life of the building and when this finalise. Trying, of this form, do that the buildings cause damage zero to the environment and achieve convert the waste in foods that give place to new materials so respectful with the nature in that we live like the roots of which come from.

KEY WORDS

Thermal isolation, natural insulation, environment, conveniently isolated, health

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	10
ÍNDICE DE TABLAS.....	14
ÍNDICE DE GRÁFICOS	18
ÍNDICE DE MAPAS	19
1. OBJETO	21
2. INTRODUCCIÓN	22
2.1. CICLO DE VIDA.....	24
3. MATERIALES AISLANTES: CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES	28
3.1. DEFINICIÓN Y PROPIEDADES	28
3.2. ALGODÓN	40
3.2.1 <i>Naturaleza y composición</i>	40
3.2.2 <i>Proceso de fabricación</i>	40
3.2.3 <i>Impacto medioambiental</i>	42
3.2.4 <i>Valorización</i>	44
3.2.5 <i>Propiedades</i>	44
3.2.6 <i>Fabricantes</i>	45
3.3. CÁÑAMO	47
3.3.1 <i>Naturaleza y composición</i>	47
3.3.2 <i>Proceso de fabricación</i>	50
3.3.3 <i>Impacto medioambiental</i>	51
3.3.4 <i>Valorización</i>	52
3.3.5 <i>Propiedades</i>	53
3.3.6 <i>Fabricantes</i>	54
3.4. CELULOSA	56
3.4.1 <i>Naturaleza y composición</i>	56
3.4.2 <i>Proceso de fabricación</i>	56
3.4.3 <i>Impacto medioambiental</i>	57
3.4.4 <i>Valorización</i>	58
3.4.5 <i>Propiedades</i>	59
3.4.6 <i>Fabricantes</i>	60

3.5.	COCO	63
3.5.1	<i>Naturaleza y composición</i>	63
3.5.2	<i>Proceso de fabricación</i>	64
3.5.3	<i>Impacto medioambiental</i>	64
3.5.4	<i>Valorización</i>	65
3.5.5	<i>Propiedades</i>	65
3.5.6	<i>Fabricantes</i>	66
3.6.	CORCHO	68
3.6.1	<i>Naturaleza y composición</i>	68
3.6.2	<i>Proceso de fabricación</i>	69
3.6.3	<i>Impacto medioambiental</i>	71
3.6.4	<i>Valorización</i>	73
3.6.5	<i>Propiedades</i>	74
3.6.6	<i>Fabricantes</i>	76
3.7.	LANA DE OVEJA	78
3.7.1	<i>Naturaleza y composición</i>	78
3.7.2	<i>Proceso de fabricación</i>	79
3.7.3	<i>Impacto medioambiental</i>	83
3.7.4	<i>Valorización</i>	84
3.7.5	<i>Propiedades</i>	85
3.7.6	<i>Fabricantes</i>	86
3.8.	LINO	88
3.8.1	<i>Naturaleza y composición</i>	88
3.8.2	<i>Proceso de fabricación</i>	89
3.8.3	<i>Impacto medioambiental</i>	91
3.8.4	<i>Valorización</i>	91
3.8.5	<i>Propiedades</i>	92
3.8.6	<i>Fabricantes</i>	93
3.9.	MADERA.....	95
3.9.1	<i>Naturaleza y composición</i>	95
3.9.2	<i>Proceso de fabricación</i>	96
3.9.3	<i>Impacto medioambiental</i>	103
3.9.4	<i>Valorización</i>	104
3.9.5	<i>Propiedades</i>	104

3.9.6	<i>Fabricantes</i>	106
3.10.	<i>PAJA</i>	108
3.10.1	<i>Naturaleza y composición</i>	108
3.10.2	<i>Proceso de fabricación</i>	110
3.10.3	<i>Impacto medioambiental</i>	114
3.10.4	<i>Valorización</i>	115
3.10.5	<i>Propiedades</i>	116
3.10.6	<i>Fabricantes</i>	117
3.11.	<i>ARCILLA EXPANDIDA</i>	119
3.11.1	<i>Naturaleza y composición</i>	119
3.11.2	<i>Proceso de fabricación</i>	120
3.11.3	<i>Impacto medioambiental</i>	122
3.11.4	<i>Valorización</i>	126
3.11.5	<i>Propiedades</i>	126
3.11.6	<i>Fabricantes</i>	127
3.12.	<i>LANAS MINERALES: DE ROCA Y DE VIDRIO</i>	129
3.13.	<i>LANA DE ROCA</i>	131
3.13.1	<i>Naturaleza y composición</i>	131
3.13.2	<i>Proceso de fabricación</i>	132
3.13.3	<i>Impacto medioambiental</i>	135
3.13.4	<i>Valorización</i>	136
3.13.5	<i>Propiedades</i>	136
3.13.6	<i>Fabricantes</i>	137
3.14.	<i>LANA DE VIDRIO</i>	139
3.14.1	<i>Naturaleza y composición</i>	139
3.14.2	<i>Proceso de fabricación</i>	140
3.14.3	<i>Impacto medioambiental</i>	142
3.14.4	<i>Valorización</i>	144
3.14.5	<i>Propiedades</i>	144
3.14.6	<i>Fabricantes</i>	144
3.15.	<i>PERLITA</i>	146
3.15.1	<i>Naturaleza y composición</i>	146
3.15.2	<i>Proceso de fabricación</i>	146
3.15.3	<i>Impacto medioambiental</i>	148

3.15.4	Valorización.....	149
3.15.5	Propiedades.....	149
3.15.6	Fabricantes.....	150
3.16.	VERMICULITA.....	152
3.16.1	Naturaleza y composición	152
3.16.2	Proceso de fabricación	153
3.16.3	Impacto medioambiental	155
3.16.4	Valorización.....	156
3.16.5	Propiedades.....	156
3.16.6	Fabricantes.....	157
3.17.	VIDRIO CELULAR	159
3.17.1	Naturaleza y composición	159
3.17.2	Proceso de fabricación	159
3.17.3	Impacto medioambiental	162
3.17.4	Valorización.....	164
3.17.5	Propiedades.....	164
3.17.6	Fabricantes.....	165
3.18.	ESPUMAS.....	167
3.19.	ESPUMA DE UREA-FORMOL	173
3.20.	ESPUMA FENÓLICA.....	176
3.20.1	Naturaleza y composición	176
3.20.2	Proceso de fabricación	176
3.20.3	Impacto medioambiental	177
3.20.4	Valorización.....	177
3.20.5	Propiedades.....	178
3.20.6	Fabricantes.....	178
3.21.	ESPUMA ELASTOMÉRICA	179
3.22.	ESPUMA DE POLIETILENO	180
3.23.	ESPUMA DE POLIPROPILENO	184
3.24.	ESPUMA DE MELANINA	186
3.25.	ESPUMA DE POLIISOCIANURATO	187
3.26.	POLIESTIRENO EXPANDIDO	188
3.26.1	Naturaleza y composición	188
3.26.2	Proceso de fabricación	189

3.26.3	<i>Impacto medioambiental</i>	193
3.26.4	<i>Valorización</i>	194
3.26.5	<i>Propiedades</i>	196
3.26.6	<i>Fabricantes</i>	199
3.27.	POLIESTIRENO EXTRUIDO	201
3.27.1	<i>Naturaleza y composición</i>	201
3.27.2	<i>Proceso de fabricación</i>	201
3.27.3	<i>Impacto medioambiental</i>	203
3.27.4	<i>Valorización</i>	204
3.27.5	<i>Propiedades</i>	206
3.27.6	<i>Fabricantes</i>	208
3.28.	POLIURETANO	210
3.28.1	<i>Naturaleza y composición</i>	210
3.28.2	<i>Proceso de fabricación</i>	211
3.28.3	<i>Impacto medioambiental</i>	214
3.28.4	<i>Valorización</i>	216
3.28.5	<i>Propiedades</i>	218
3.28.6	<i>Fabricantes</i>	221
3.29.	OTROS AISLANTES	223
4.	EVALUACIÓN	245
5.	CONCLUSIONES	276
6.	ANEXOS	277
7.	BIBLIOGRAFÍA	290

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 FORMAS DE TRANSMISIÓN DE CALOR. FUENTE: NERGIZA	29
ILUSTRACIÓN 2 AEROGEL. FUENTE: AREATECNOLOGIA-AEROGEL	36
ILUSTRACIÓN 3 VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL DE UNA CÁMARA DE AIRE VERTICAL EN FUNCIÓN DE SU ESPESOR. FUENTE: PASTOR JUAN, 2012 ⁸	37
ILUSTRACIÓN 4 FLOR DEL ALGODÓN. FUENTE: EL SOL DE MÉXICO	40
ILUSTRACIÓN 5 PROCESO DE FABRICACIÓN AIRLAY. FUENTE: MEGAPLASTIC.COM	41
ILUSTRACIÓN 6 ESQUEMA DEL CICLO DE VIDA DEL AISLAMIENTO DE ALGODÓN RECICLADO. FUENTE: SOCIETAT ORGÁNICA	41
ILUSTRACIÓN 7 CANNABIS SATIVA. FUENTE: WIKIPEDIA	48
ILUSTRACIÓN 8 TALLO DE LA PLANTA DEL CÁÑAMO. FUENTE: HEMPBUILDING	50
ILUSTRACIÓN 9 FIELTRO DE CÁÑAMO. FUENTE:MIMBREA.....	50
ILUSTRACIÓN 10 PANEL RÍGIDO DE CÁÑAMO. FUENTE: MIMBREA.....	50
ILUSTRACIÓN 11 MORTEROS AISLANTES DE CÁÑAMO. FUENTE: MIMBREA	51
ILUSTRACIÓN 12 PARTES DEL COCO. FUENTE: WIKIPEDIA	63
ILUSTRACIÓN 13 LA SACA DEL CORCHO EN EL ALCORNOQUE. FUENTE: BLOG DE GEOGRAFÍA	69
ILUSTRACIÓN 14 CORCHO EN REPOSO ANTES. FUENTE: AMORIM	70
ILUSTRACIÓN 15 DATOS DE EMISIONES DE CO ₂ EN EL PROCESO DE TRANSPORTE Y FABRICACIÓN DEL CORCHO NEGRO. FUENTE: AMORIM	72
ILUSTRACIÓN 16 OVEJA MERINA. FUENTE: WIKIPEDIA	78
ILUSTRACIÓN 17 VISTA MICROSCÓPICA DE UNA FIBRA DE LANA DE OVEJA. FUENTE: SHEEPWOOLINSULATION	78
ILUSTRACIÓN 18 ESQUEMA DEL CICLO DE VIDA DEL AISLAMIENTO DE LANA DE OVEJA. FUENTE: SOCIETAT ORGÁNICA ..	79
ILUSTRACIÓN 19 LANA DE OVEJA. FUENTE: HUESCA-ALL.....	80
ILUSTRACIÓN 20 PROCESO DE LAVADO DE LA LANA. FUENTE: MANUEL RODRIGUES TABARES.....	80
ILUSTRACIÓN 21 FLOR DEL LINO. FUENTE: WIKIPEDIA	88
ILUSTRACIÓN 22 LINO COSECHADO. FUENTE: PROGRAMADETEXTILIZACION	89
ILUSTRACIÓN 23 PROCESO FABRICACIÓN AISLANTE DE LINO. FUENTE: FUTURA-SCIENCES.....	90
ILUSTRACIÓN 24 PROCESO FABRICACIÓN AISLANTE LINO. FUENTE: FUTURA-SCIENCES	90
ILUSTRACIÓN 25 OBTENCIÓN DEL AISLANTE DE LINO. FUENTE: FUTURA-SCIENCES.....	90
ILUSTRACIÓN 26 AISLANTE DE MADERA. FUENTE: FUTURA-SCIENCES.COM.....	95
ILUSTRACIÓN 27 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL TABLERO DE FIBRAS DE MADERA. PROCESO EN SECO. FUENTE: GUTEX ⁶⁶	98
ILUSTRACIÓN 28 PASTA PARA FABRICACIÓN DE PANELES DE FIBRA DE MADERA. FUENTE: PAVATEX.....	98
ILUSTRACIÓN 29 PROCESO DE FABRICACIÓN EN HÚMEDO. FUENTE: GUTEX ⁶⁸	100

ILUSTRACIÓN 30 LANA DE MADERA. FUENTE: CONSTRUNARIO	101
ILUSTRACIÓN 31 ESPUMA DE MADERA. FUENTE: ECOSECTORES.COM.....	102
ILUSTRACIÓN 32 SIMONTON HOUSE, NEBRASKA 1908. FUENTE: CONSTRUCCIONBALASDEPAJAUAX.....	108
ILUSTRACIÓN 33 "MAISON FEUILLETTE" CONSTRUIDA EN 1921. FUENTE: CONSTRUCCIONBALASDEPAJA	109
ILUSTRACIÓN 34 DIMENSIONES DE UN FARDO DE PAJA. FUENTE: CASAS DE PAJA	110
ILUSTRACIÓN 35 DISPOSICIÓN DE LAS BALAS DE PAJA. FUENTE: WALDLAND.....	111
ILUSTRACIÓN 36 CONSTRUCCIÓN DE UNA CASA CON EL SISTEMA ALFAWALL. FUENTE: OKAMBUVA	113
ILUSTRACIÓN 37 BLOQUE BALABOX. FUENTE: BALA-BOX.....	113
ILUSTRACIÓN 38 SISTEMA MODCELL. FUENTE: MODCELL.....	114
ILUSTRACIÓN 39 ARCILLA EXPANDIDA. FUENTE: WIKIPEDIA	119
ILUSTRACIÓN 40 ESTRUCTURA CELULAR DE LA ARCILLA EXPANDIDA. FUENTE: FUTURA-SCIENCES	120
ILUSTRACIÓN 41 HORNOS ROTATORIOS. FUENTE: LATERLITE	121
ILUSTRACIÓN 42 FABRICACIÓN DE LA ARCILLA EXPANDIDA. FUENTE: LATERLITE	121
ILUSTRACIÓN 43 USOS DE LA ARLITA EN EDIFICACIÓN. FUENTE: ARGEX	122
ILUSTRACIÓN 44 ENERGÍA INCORPORADA EN LA FABRICACIÓN DE ARCILLA EXPANDIDA. FUENTE: ARGEX	124
ILUSTRACIÓN 45 PORCENTAJES DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LAS DIFERENTES FASES DEL PROCESO DE MANUFACTURACIÓN. FUENTE: ARGEX ⁹⁵	125
ILUSTRACIÓN 46 LANAS MINERALES. FUENTE: AFELMA.....	129
ILUSTRACIÓN 47 VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN RELACIÓN A LA DENSIDAD DE LAS LANAS MINERALES. FUENTE: PASTOR, 2012	130
ILUSTRACIÓN 48 AISLANTE DE LANA DE ROCA. FUENTE: NAIMA	131
ILUSTRACIÓN 49 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA LANA DE ROCA. FUENTE: ROCKWOOL	132
ILUSTRACIÓN 50 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA LANA DE ROCA. FUENTE: AFELMA	134
ILUSTRACIÓN 51 LANA DE VIDRIO. FUENTE: CATÁLOGO URSA	139
ILUSTRACIÓN 52 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA LANA DE VIDRIO. FUENTE: AFELMA	142
ILUSTRACIÓN 53 ESTRUCTURA DE LA PERLITA EXPANDIDA. FUENTE: PERLITE	147
ILUSTRACIÓN 54 PERLITA EXPANDIDA. FUENTE: NESTAAN	147
ILUSTRACIÓN 55 ASPECTO DEL MINERAL DE MICA DESPUÉS DE LA EXTRACCIÓN. FUENTE: FUTURA-SCIENCES.....	152
ILUSTRACIÓN 56 ASPECTO DE LA VERMICULITA EXFOLIADA. FUENTE: FUTURA-SCIENCES	153
ILUSTRACIÓN 57 VERMICULITA EXFOLIADA, GRANULOMETRÍAS. FUENTE:VERMICULITAYDERIVADOS.....	154
ILUSTRACIÓN 58 BLOQUE DE VIDRIO CELULAR. FUENTE: FOAMGLASS.....	160
ILUSTRACIÓN 59 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL VIDRIO CELULAR. FUENTE: FOAMGLAS	161
ILUSTRACIÓN 60 VIDRIO CELULAR. FUENTE: MIMBREA.....	162
ILUSTRACIÓN 61 RELACIÓN ENTRE DENSIDAD Y RESISTENCIAS DEL VIDRIO CELULAR. FUENTE: PASTOR, 2012	164

ILUSTRACIÓN 62 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS MATERIALES SÓLIDOS Y DE SUS CORRESPONDIENTES ESPUMAS.	
FUENTE: BELÉN DEL SAZ-OROZCO RODRÍGUEZ.....	168
ILUSTRACIÓN 63 PROCESO DE FORMACIÓN DE LAS ESPUMAS POLIMÉRICAS. FUENTE: BELÉN DEL SAZ-OROZCO	
RODRÍGUEZ	168
ILUSTRACIÓN 64 FLUJO DE CALOR EN ESPUMAS POLIMÉRICAS CON DISTINTOS TAMAÑOS DE CELDA. FUENTE: BELÉN DEL	
SAZ-OROZCO RODRÍGUEZ	169
ILUSTRACIÓN 65 POLÍMEROS PARA LA FABRICACIÓN DE ESPUMAS POLIMÉRICAS. FUENTE: BELÉN DEL SAZ-OROZCO	
RODRÍGUEZ	170
ILUSTRACIÓN 66 TRABAJADOR PROYECTANDO ESPUMA UREA-FORMOL. FUENTE: TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS....	174
ILUSTRACIÓN 67 [PANEL DE ESPUMA FENÓLICA]. FUENTE: ARCHIEXPO	176
ILUSTRACIÓN 68 REPRESENTACIÓN DEL POLIETILENO. FUENTE: UNIVERSIDAD DE OVIEDO.....	180
ILUSTRACIÓN 69 ESPUMAS DE POLIETILENO. FUENTE: UNIVERSIDAD DE OVIEDO.....	181
ILUSTRACIÓN 70 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD. FUENTE: UNIVERSIDAD DE OVIEDO	182
ILUSTRACIÓN 71 PRODUCCIÓN DEL POLIPROPILENO. FUENTE: UNIVERSIDAD DE OVIEDO	184
ILUSTRACIÓN 72 ESPUMA DE POLIPROPILENO BAJO PARQUET. FUENTE: ESTEBA	184
ILUSTRACIÓN 73 FORMULACIÓN QUÍMICA DE LA MELAMINA. FUENTE: TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS	186
ILUSTRACIÓN 74 FRAGMENTO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO. FUENTE: SUMISERAN	188
ILUSTRACIÓN 75 OBTENCIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIBLE. FUENTE: ANAPE	189
ILUSTRACIÓN 76 DIFERENTES PRODUCTOS QUE INTERVIENEN EN LA FABRICACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO.	
FUENTE: SUMISERAN	191
ILUSTRACIÓN 77 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL EPS. FUENTE: BASF.....	192
ILUSTRACIÓN 78 [EMBALAJE DE MICELIO]. FUENTE: ECOINVENTOS.....	194
ILUSTRACIÓN 79 RECICLADO DEL EPS. FUENTE: SUMISERAN S.L.	195
ILUSTRACIÓN 80 DENSIDAD/CONDUCTIVIDAD TÉRMICA. VALORES MEDIOS Y PREVISTOS. FUENTE: PASTOR, 2012 .	196
ILUSTRACIÓN 81 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL POLIESTIRENO EXTRUIDO. FUENTE: ANAPE	203
ILUSTRACIÓN 82 PODER CALORÍFICO APORTADO POR LA INCINERACIÓN DE PLÁSTICOS. FUENTE: UNIVERSIDAD DE	
VALLADOLID	205
ILUSTRACIÓN 83 PROCESO DE FABRICACIÓN PLANCHAS DE POLIURETANO. FUENTE: TEPOL, S.A.....	212
ILUSTRACIÓN 84 ESQUEMA MÁQUINA PARA PROYECTAR PUR. FUENTE: LIBRO BLANCO DEL POLIURETANO	213
ILUSTRACIÓN 85 PROCESO DE ESPUMACIÓN DEL POLIURETANO. FUENTE: FENERCOM	214
ILUSTRACIÓN 86 FASE DE GRANULACIÓN DEL POLIURETANO EN SU PROCESO DE RECICLADO. FUENTE: MIMBREA	217
ILUSTRACIÓN 87 DIFERENCIA ENTRE CELDA CERRADA Y CELDA ABIERTA. FUENTE: BASF	219
ILUSTRACIÓN 88 PHRAGMITES AUSTRALIS. FUENTE: SCIENCE. HALLEYHOSTING	223
ILUSTRACIÓN 89 PANELES DE CAÑAS. FUENTE: GONZÁLEZ, VÍCTOR.....	223

ILUSTRACIÓN 90 PANEL AISLANTE DE CAÑAS. FUENTE: CANNABRIC	224
ILUSTRACIÓN 91 CASCARILLA DE ARROZ. FUENTE: 123RF	225
ILUSTRACIÓN 92 SACCHAROMYCES CEREVISIAE. FUENTE: REVISTA DE LA SOCIEDAD BRASILEÑA DE CIENCIAS MECÁNICAS E INGENIERÍA	227
ILUSTRACIÓN 93 PROBETA DE AISLANTE DE CASCARILLA DE ARROZ. FUENTE: REVISTA DE LA SOCIEDAD BRASILEÑA DE CIENCIAS MECÁNICAS E INGENIERÍA ¹⁸³	227
ILUSTRACIÓN 94 [VISTA MICROCÓPICA DE LA DIATOMITA]. FUENTE: AWARENESS`S BLOG.....	229
ILUSTRACIÓN 95 PARTES DE LAS DIATOMEAS. FUENTE: UNIVERSIDAD DE ALCALÁ.....	230
ILUSTRACIÓN 96 YACIMIENTO DE DIATOMITA. FUENTE: AWARENESS`S BLOG	231
ILUSTRACIÓN 97 LOSAS DE DIATOMEA. FUENTE: ARMISUM	232
ILUSTRACIÓN 98 PARTES DE UN HONGO. FUENTE: CAJON DE CIENCIAS	233
ILUSTRACIÓN 99 PANEL AISLANTE DE MICELIO. FUENTE: LA CIUDAD VIVA.....	234
ILUSTRACIÓN 100 PANEL ESTRUCTURAL AISLANTE (PEA).....	235
ILUSTRACIÓN 101 SOMATERIA MOLLISSIMA BOREALIS. FUENTE: WIKIPEDIA.....	237
ILUSTRACIÓN 102 NIDO DE SOMATERIA MOLLISSIMA BOREALIS. FUENTE: WIKIPEDIA	237
ILUSTRACIÓN 103 DISTRIBUCIÓN DE LA POSIDONIA OCEÁNICA. FUENTE: WIKIPEDIA.....	239
ILUSTRACIÓN 104 COLOCAIÓN DE PALETS. FUENTE: LIFE REUSING POSIDONIA	241
ILUSTRACIÓN 105 COMPOSICIÓN TRADICIONAL DE LAS CUBIERTAS DE FORMENTERA. FUENTE: LIFE REUSING POSIDONIA	242
ILUSTRACIÓN 106 PLANCHA DE CORCHO NATURAL. CONTIENE CERCA DEL 60% DE AIRE. FUENTE: AMORIM	261
ILUSTRACIÓN 107 ASPECTO DE LA CÉLULA DEL CORCHO OBSEVADA EN MICROSCÓPIO. FUENTE: AMORIM ²⁰²	261
ILUSTRACIÓN 108 ESTRUCTURA INTERNA DE LOS TIPOS DE PLÁSTICOS. FUENTE: LOSADHESIVOS.....	286

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 ENERGÍA Y CO ₂ PARA EL TRATAMIENTO DE BIOCIDAS Y COMPUESTOS MINERALES DE LA MANTA MULTIFIBRAS DE ALGODÓN. FUENTE: SOCIETAT ORGÁNICA ¹³	41
TABLA 2 COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DEL AISLANTE DE ALGODÓN	43
TABLA 3 PROPIEDADES DEL ALGODÓN. PRECIOS.....	44
TABLA 4 PROPIEDADES DEL ALGODÓN SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS	44
TABLA 5 FABRICANTES DE AISLANTES DE ALGODÓN EN ESPAÑA Y EUROPA.....	45
TABLA 6 VALORES DE COSTE ENERGÉTICO EN LA FABRICACIÓN DEL AISLAMIENTO DE CÁÑAMO	52
TABLA 7 PROPIEDADES DEL CÁÑAMO. PRECIOS	53
TABLA 8 PROPIEDADES DEL CÁÑAMO SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS	53
TABLA 9 FABRICANTES DE AISLAMIENTO DE CÁÑAMO EN ESPAÑA Y EUROPA	54
TABLA 10 COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DE LA CELULOSA	58
TABLA 11 PROPIEDADES DE LA CELULOSA. PRECIOS	59
TABLA 12 PROPIEDADES DE LA CELULOSA SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS.....	59
TABLA 13 FABRICANTES DE AISLAMIENTO DE CELULOSA EN ESPAÑA Y EUROPA	61
TABLA 14 COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DEL COCO	65
TABLA 15 PROPIEDADES DEL AISLAMIENTO DE COCO. PRECIOS	65
TABLA 16 PROPIEDADES DEL AISLAMIENTO DE COCO SEGÚN AMORIM. PRECIOS	65
TABLA 17 FABRICANTES DE AISLAMIENTO DE COCO	66
TABLA 18 COSTE ENERGÉTICO DE FABRICACIÓN DEL AISLAMIENTO DEL CORCHO	73
TABLA 19 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AISLAMIENTO DE CORCHO. PRECIOS	74
TABLA 20 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AISLAMIENTO DE CORCHO	74
TABLA 21 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AISLAMIENTO DE CORCHO SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS.....	75
TABLA 22 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AISLAMIENTO DE CORCHO	75
TABLA 23 FABRICANTES DE AISLAMIENTO DE CORCHO EN ESPAÑA Y EUROPA	76
TABLA 24 ENERGÍA Y CO ₂ PARA EL TRATAMIENTO DE BIOCIDAS Y COMPUESTOS MINERALES DE LA MANTA DE LANA DE OVEJA. FUENTE: SOCIETAT ORGÁNICA	81
TABLA 25COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DEL AISLANTE DE LANA DE OVEJA.....	84
TABLA 26 PROPIEDADES AISLANTE DE LANA DE OVEJA. PRECIOS	85
TABLA 27 PROPIEDADES DEL AISLAMIENTO DE LANA DE OVEJA SEGÚN EMPRESAS. PRECIOS.....	85
TABLA 28 FABRICANTES DE AISLAMIENTO DE LANA DE OVEJA EN ESPAÑA Y EUROPA	86
TABLA 29 COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DEL AISLANTE DE LINO	91
TABLA 30 PROPIEDADES DEL AISLAMIENTO DE LINO. PRECIOS.....	92
TABLA 31 PROPIEDADES DEL AISLAMIENTO DE LINO SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS	92

TABLA 32 FABRICANTES DE AISLANTE DE LINO EN ESPAÑA Y EUROPA	93
TABLA 33 COSTE ENERGÉTICO FABRICACIÓN DEL AISLANTE DE FIBRAS DE MADERA	104
TABLA 34 PROPIEDADES DEL AISLANTE DE FIBRAS DE MADERA. PRECIOS	104
TABLA 35 PROPIEDADES DEL AISLANTE DE FIBRAS DE MADERA	105
TABLA 36 PROPIEDADES DEL AISLANTE DE FIBRAS DE MADERA SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS	105
TABLA 37 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AISLAMIENTO DE FIBRAS DE MADERA	105
TABLA 38 PROPIEDADES DEL AISLANTE DE LANA DE MADERA	106
TABLA 39 PROPIEDADES DEL AISLANTE DE LANA DE MADERA SEGÚN EMPRESA GUTEX.....	106
TABLA 40 FABRICANTES AISLANTES DE MADERA EN EUROPA	106
TABLA 41 COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DE BALAS DE PAJA	115
TABLA 42 PROPIEDADES DEL AISLAMIENTO DE BALAS DE PAJA.....	116
TABLA 43 PROPIEDADES DEL AISLAMIENTO CON BALAS DE PAJA SEGÚN DOS FABRICANTES	116
TABLA 44 FABRICANTES DE ESTRUCTURAS CON AISLAMIENTO DE BALAS DE PAJA EN ESPAÑA Y EUROPA	117
TABLA 45 COMPONENTES QUÍMICOS DE LA ARCILLA EXPANDIDA. FUENTE: PROPIA	119
TABLA 46 ENERGÍA CONSUMIDA EN LAS DIFERENTES FASES DEL PROCESO DE MANUFACTURACIÓN. FUENTE: ARGEX ⁹⁵	124
TABLA 47 PRINCIPALES EMISIONES QUE CONTRIBUYEN AL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL EN LAS DIFERENTES CATEGORÍAS. FUENTE: ARGEX ⁹⁵	125
TABLA 48 COSTE ENERGÉTICO EN LA FABRICACIÓN DE LA ARCILLA EXPANDIDA.....	126
TABLA 49 PROPIEDADES DE LA ARCILLA EXPANDIDA	126
TABLA 50 PROPIEDADES DE LA ARCILLA EXPANDIDA SEGÚN DOS FABRICANTES. PRECIOS	126
TABLA 51 FABRICANTES DE ARCILLA EXPANDIDA EN ESPAÑA Y EUROPA	127
TABLA 52 COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DE LA LANA DE ROCA	135
TABLA 53 PROPIEDADES DE LA LANA DE ROCA. PRECIOS	136
TABLA 54 PROPIEDADES DE LA LANA DE ROCA SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS.....	137
TABLA 55 FABRICANTES DE LANA DE ROCA EN ESPAÑA	137
TABLA 56 COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DE LA LANA DE VIDRIO	143
TABLA 57 PROPIEDADES DE LA LANA DE VIDRIO. PRECIOS	144
TABLA 58 PROPIEDADES DE LA LANA DE VIDRIO SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS.....	144
TABLA 59 FABRICANTES DE LANA DE VIDRIO EN ESPAÑA Y EUROPA.....	144
TABLA 60 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PERLITA	146
TABLA 61 COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DE PERLITA	149
TABLA 62 PROPIEDADES DE LA PERLITA. PRECIOS	149
TABLA 63 PROPIEDADES DE LA PERLITA SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS.....	150

TABLA 64 FABRICANTES DE PERLITA EN ESPAÑA Y EUROPA.....	150
TABLA 65 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA VERMICULITA	152
TABLA 66 COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DE VERNICULITA	155
TABLA 67 PROPIEDADES DE LA VERMICULITA. PRECIOS.....	156
TABLA 68 PROPIEDADES DE LA VERMICULITA SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS	156
TABLA 69 FABRICANTES DE VERMICULITA EN ESPAÑA Y EUROPA	157
TABLA 70 COMPONENTES BÁSICOS DEL VIDRIO CELULAR. FUENTE: FOAMGLAS	159
TABLA 71 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LOSAS Y FORMAS PRECORTADAS. FUENTE: FOAMGLAS	163
TABLA 72 ENERGÍA NECESARIA PARA FABRICAR 1 KG DE FOAMGLAS T4+. FUENTE: FOAMGLAS ¹²⁹	163
TABLA 73 COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DEL VIDRIO CELULAR	164
TABLA 74 PROPIEDADES DEL VIDRIO CELULAR.....	165
TABLA 75 PROPIEDADES DEL VIDRIO CELULAR SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS	165
TABLA 76 FABRICANTES VIDRIO CELULAR EN ESPAÑA	165
TABLA 77 FABRICANTES DE ESPUMAS AISLANTES EN ESPAÑA.....	172
TABLA 78 PROPIEDADES DE LA ESPUMA UREA-FORMOL.....	175
TABLA 79 PÁRAMETROS MEDIOAMBIENTALES DE LOS AGENTES ESPUMANTES FÍSICOS ALTERNATIVOS. FUENTE: BELÉN DEL SAZ-OROZCO RODRÍGUEZ	177
TABLA 80 PROPIEDADES ESPUMA FENÓLICA	178
TABLA 81 FABRICANTES ESPUMA FENÓLICA	178
TABLA 82 PROPIEDADES DE LA ESPUMA ELASTOMÉRICA	179
TABLA 83 COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DEL POLIETILENO. PRECIOS	183
TABLA 84 FABRICANTES DE ESPUMA DE POLIETILENO EN ESPAÑA	183
TABLA 85 COSTE ENERGÉTICO EN LA FABRICACIÓN DE LA ESPUMA DE POLIPROPILENO	185
TABLA 86 COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DE LA ESPUMA DE POLIISOCIANURATO. PRECIOS.....	187
TABLA 87 COSTE ENERGÉTICO EN LA FABRICACIÓN DEL EPS	193
TABLA 88 PROPIEDADES DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO. PRECIOS.....	196
TABLA 89 PROPIEDADES DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS	197
TABLA 90 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO	197
TABLA 91 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO SEGÚN FABRICANTES.....	197
TABLA 92 COMPATIBILIDAD DEL EPS CON DIFERENTES SUSTANCIAS. FUENTE: FENERCOM	198
TABLA 93 FABRICANTES DE POLIESTIRENO EXPANDIDO EN ESPAÑA Y EUROPA	199
TABLA 94 COSTE ENERGÉTICO EN LA FABRICACIÓN DEL XPS	204
TABLA 95 PROPIEDADES DEL POLIESTIRENO EXTRUÍDO. PRECIOS.....	206
TABLA 96 PROPIEDADES DEL POLIESTIRENO EXTRUIDO SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS.....	206

TABLA 97 PROPIEDADES DEL POLIESTIRENO EXTRUIDO SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS	206
TABLA 98 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL POLIESTIRENO EXTRUIDO	207
TABLA 99 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL POLIESTIRENO EXTRUIDO SEGÚN FABRICANTES	207
TABLA 100 FABRICANTES DE POLIESTIRENO EXTRUIDO EN ESPAÑA Y EUROPA.....	208
TABLA 101 COSTE ENERGÉTICO DE LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE POLIURETANO	215
TABLA 102 USOS DEL POLIURETANO EN LA INDUSTRIA. FUENTE: PU EUROPE	216
TABLA 103 CLASIFICACIÓN DE LA ESPUMA SEGÚN CONTENIDO DE CELDA CERRADA. FUENTE: IPUR	218
TABLA 104 PROPIEDADES POLIURETANO. PRECIOS	219
TABLA 105 PROPIEDADES POLIURETANO	219
TABLA 106 PROPIEDADES POLIURETANO Y ESPUMA DE POLIURETANO SEGÚN FABRICANTES. PRECIOS	220
TABLA 107 FABRICANTES DE AISLANTE DE POLIURETANO EN ESPAÑA Y EUROPA.....	221
TABLA 108 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ. FUENTE: REVISTA DE LA SOCIEDAD BRASILEÑA DE CIENCIAS MECÁNICAS E INGENIERÍA	225
TABLA 109 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ. FUENTE: REVISTA DE LA SOCIEDAD BRASILEÑA DE CIENCIAS MECÁNICAS E INGENIERÍA.....	226
TABLA 110 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA TIERRA DE DIATOMEAS. FUENTE: ECODOÑANA.....	230
TABLA 111 EMPRESAS EXTRACTORAS DE DIATOMITA	232
TABLA 112 FABRICANTES DE AISLANTE DE MICELIO	236
TABLA 113 FABRICANTES DE AISLAMIENTO DE PLUMAS DE AVE. FUENTE: PROPIA.....	238
TABLA 114 FABRICANTES DE AISLAMIENTO DE POSIDONIA OCEÁNICA. FUENTE: PROPIA.....	243
TABLA 115 VALORES MÍNIMOS - MEDIOS Y MÁXIMOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA SEGÚN FABRICANTES, λ [W/M.K]	247
TABLA 116 VALORES MÍNIMOS - MEDIOS Y MÁXIMOS DE DENSIDAD SEGÚN FABRICANTES, ρ [Kg/m ³]	248
TABLA 117 VALORES COMPARATIVOS DE COSTE ENERGÉTICO (MJ/KG)	269
TABLA 118 VALORES COMPARATIVOS DE EMISIONES DE CO ₂	271

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA SEGÚN DIVERSAS FUENTES.....	249
GRÁFICO 2 VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA SEGÚN FABRICANTES	250
GRÁFICO 3 VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA SEGÚN LAS BASES DE DATOS FIVE Y BEDEC (ITeC)	251
GRÁFICO 4 VALORES DE DENSIDAD SEGÚN DIVERSAS FUENTES	254
GRÁFICO 5 VALORES DE DENSIDAD SEGÚN FABRICANTES	255
GRÁFICO 6 VALORES DE DENSIDAD SEGÚN LAS BASES DE DATOS FIVE Y BEDEC (ITeC) Y NORMAS UNE.....	256
GRÁFICO 7 VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA SEGÚN FABRICANTES, λ [W/M.K].....	258
GRÁFICO 8 VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA SEGÚN FABRICANTES, λ [W/M.K].....	258
GRÁFICO 9 VALORES DE LA RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN AL VAPOR DE AGUA SEGÚN FABRICANTES, M [ADIMENSIONAL]	259
GRÁFICO 10 VALORES DE DENSIDAD DE MATERIALES AISLANTES SEGÚN FABRICANTES, ρ [KG/M ³]	262
GRÁFICO 11 VALORES DE DENSIDAD DE MATERIALES AISLANTES SEGÚN FABRICANTES, ρ [KG/M ³]	262
GRÁFICO 12 VALORES DE CALOR ESPECÍFICO SEGÚN FABRICANTES, Cp [J/KG.K]	263
GRÁFICO 13 CAPACIDAD TÉRMICA DE LOS MATERIALES AISLANTES, C [KCAL/°C].....	264
GRÁFICO 14 CAPACIDAD TÉRMICA DE LOS MATERIALES AISLANTES, C [KCAL/°C] ²⁰³	264
GRÁFICO 15 COSTE ENERGÉTICO EN LA FABRICACIÓN DE MATERIALES AISLANTES. FUENTE: ITeC (BASE DE DATOS BEDEC)	269
GRÁFICO 16 EMISIONES DE CO2 EN LA FABRICACIÓN DE MATERIALES AISLANTES. FUENTE: ITeC (BASE DE DATOS BEDEC)	271
GRÁFICO 17 CLASIFICACIÓN DE LA REACCIÓN AL FUEGO DE LOS MATERIALES AISLANTES SEGÚN FABRICANTES	273
GRÁFICO 18 PRODUCCIÓN DE HUMOS DE LOS MATERIALES AISLANTES SEGÚN FABRICANTES.....	273

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE ALGODÓN EN ESPAÑA	46
MAPA 2 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE ALGODÓN EN EUROPA.....	46
MAPA 3 FABRICANTES DE AISLAMIENTO DE CÁÑAMO EN ESPAÑA.....	55
MAPA 4 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE CÁÑAMO EN EUROPA	55
MAPA 5 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE CELULOSA EN ESPAÑA	62
MAPA 6 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE CELULOSA EN EUROPA.....	62
MAPA 7 FABRICANTES DE AISLAMIENTO DE COCO EN ESPAÑA.....	67
MAPA 8 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE COCO EN EUROPA.....	67
MAPA 9 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE CORCHO EN ESPAÑA	77
MAPA 10 FABRICANTES DE AISLAMIENTO DE CORCHO EN EUROPA	77
MAPA 11 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE LANA DE OVEJA EN ESPAÑA	87
MAPA 12 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE LANA DE OVEJA EN EUROPA.....	87
MAPA 13 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE LINO EN ESPAÑA	94
MAPA 14 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE LINO EN EUROPA	94
MAPA 15 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE FIBRA DE MADERA EN ESPAÑA	107
MAPA 16 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE FIBRA DE MADERA EN EUROPA.....	107
MAPA 17 FABRICANTES DE MÓDULOS DE PAJA EN ESPAÑA	118
MAPA 18 FABRICANTES DE MÓDULOS DE PAJA EN EUROPA.....	118
MAPA 19 FABRICANTES ARCILLA EXPANDIDA EN ESPAÑA.....	128
MAPA 20 FABRICANTES DE ARCILLA EXPANDIDA EN EUROPA	128
MAPA 21 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE LANA DE ROCA EN ESPAÑA	138
MAPA 22 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE LANA DE ROCA EN EUROPA.....	138
MAPA 23 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE LANA DE VIDRIO EN ESPAÑA	145
MAPA 24 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS DE LANA DE ROCA EN EUROPA.....	145
MAPA 25 FABRICANTES DE PERLITA EXPANDIDA EN ESPAÑA.....	151
MAPA 26 FABRICANTES DE PERLITA EXPANDIDA EN EUROPA	151
MAPA 27 FABRICANTES DE VERMICULITA EN ESPAÑA	158
MAPA 28 FABRICANTES DE VERMICULITA EXPANDIDA EN EUROPA.....	158
MAPA 29 FABRICANTES DE VIDRIO CELULAR EN ESPAÑA.....	166
MAPA 30 FABRICANTES DE ESPUMAS EN ESPAÑA.....	172
MAPA 31 FABRICANTES DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) EN ESPAÑA	200
MAPA 32 FABRICANTES DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) EN EUROPA.....	200
MAPA 33 FABRICANTES DE POLIESTIRENO EXTRUIDO (XPS) EN ESPAÑA.....	209

MAPA 34 FABRICANTES DE POLIESTIRENO EXTRUIDO (XPS) EN EUROPA.....	209
MAPA 35 FABRICANTES DE POLIURETANO (PUR) EN ESPAÑA	222
MAPA 36 FABRICANTES DE POLIURETANO (PUR) EN EUROPA	222
MAPA 37 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS TÉRMICOS EN ESPAÑA	245
MAPA 38 FABRICANTES DE AISLAMIENTOS TÉRMICOS EN EUROPA.....	246

1. Objeto

El presente trabajo tiene como finalidad conocer más detalladamente los materiales aislantes térmicos en función de criterios técnicos y ecológicos; así podremos tener un conocimiento pormenorizado de los mismos para saber elegir adecuadamente según su funcionalidad en las edificaciones (criterios técnicos) , huella ecológica, salud y precio.

Para ello se comparan sus propiedades, su adecuación al uso, energía empleada durante el proceso para su fabricación y emisiones a la atmósfera, consumo energético, la proximidad de fabricación respecto a la obra para minimizar los transportes, interacción con el ser humano y su salud, generación de residuos, etc. Por esto se analizan y equiparan los diferentes materiales existentes en el mercado aptos para aislar térmicamente.

2. Introducción

La construcción es uno de los grandes actores en el escenario del derroche energético a escala mundial; aunque normalmente, se atribuye el agotamiento de los combustibles fósiles al transporte y a la fabricación industrial, y su consecuente producción de gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global.

La edificación, abarcando todas sus fases, desde la obtención de materias primas, la construcción del edificio, su vida útil, su demolición y el tratamiento posterior de los residuos, es un proceso que consume una gran cantidad de energía y recursos. Más concretamente representa un 40% del total de la demanda energética final en Europa. Por tanto “aislar convenientemente” no es una redundancia, sino uno de los aspectos principales a considerar en el diseño y construcción de edificaciones.

A nivel general, podemos decir que en España la construcción y uso de los edificios consumen hasta un 25% de las materias primas extraídas de la litosfera –según la contabilización de flujos materiales de la economía, elaborado respectivamente por el World Watch Institute y el Wuppertal Institute-. Tanto la extracción como la generación de residuos podrían ser significativamente más bajas si los materiales se reciclaran; pero en España, y según el *Informe Symonds* sobre los resultados de la construcción en Europa elaborado en 1999, la tasa de reciclaje en la edificación es apenas del 5%. La construcción supone la utilización de unos 2.500 kg/m² de materiales que ingresan directamente en la obra. Si además, consideramos la mochila ecológica de estos materiales –cantidad de residuos generados durante la extracción de las materias primas y la fabricación de los productos- tal valor debería multiplicarse, al menos, por tres, con lo que llegaría a una cifra de 7.500 kg/m². Y podría subir, al menos hasta 23.000 kg/m², si se tuviera en cuenta el agua empleada en la extracción y fabricación de materiales¹.

De ahí la relevancia de incidir en un buen diseño y elección de materiales que minimice el consumo de energía en cada una de las fases en la edificación. La arquitectura y la construcción deben orientarse al uso de materiales locales, que precisen de una mínima energía para su fabricación. Además debemos tener en cuenta de que al final de la vida útil del edificio, éstos se puedan reutilizar o reciclar con facilidad, integrándose de nuevo al ciclo de la naturaleza; evitando que se conviertan en residuos. Es decir, debemos llevar de la mano en todo el proceso el análisis de

¹ Datos extraídos de:

WADEL, Gerardo. Aislantes térmicos renovables y reciclado de lana de oveja y algodón. *Cercha* [en línea]. Madrid: Revista Cercha, 2011, nº107, pp. 55-60 [Consulta:22 marzo 2016]. Disponible en: <http://www.musaat.es/cercha;jsessionid=B7878E6140C8D1C12DA92C21275BA6C4?anio=2011>

ciclo de vida (ACV) de todos los materiales que intervienen en la obra, entre ellos los destinados al aislamiento térmico.

La repercusión que tiene el aislamiento térmico en las edificaciones es clave, ya que además de su impacto como material de construcción, tiene un papel primordial en el ahorro energético durante la vida útil del edificio incidiendo en el confort de los usuarios y suponiendo gastos adicionales en combustibles de climatización.

Por tanto, no debemos menospreciar la importancia que tienen estos materiales y debemos actuar en consecuencia, eligiendo un aislante térmico fijándonos, no sólo en su capacidad aislante y su precio, sino también en factores, igualmente importantes, tanto a nivel ecológico como a nivel de prestaciones, de salud y de seguridad para las personas. Valorando capacidades tan importantes como su durabilidad, higroscopicidad, capacidad de difusión del vapor de agua o comportamiento contra el fuego y emisión de gases tóxicos. También debe considerarse la energía necesaria para su eliminación, como correspondería a un análisis completo de ciclo de vida. En este trabajo se tendrán en cuenta todo tipo de materiales aislantes térmicos, tanto los convencionales o derivados de la industria petroquímica como los derivados de materiales naturales. Realizando una comparación pormenorizada de cada uno de ellos teniendo en cuenta toda su vida útil; desde la extracción de las materias primas, fabricación, uso (en este caso en edificación) y reutilización o reciclado.

2.1. Ciclo de vida

Tradicionalmente en el sector de la construcción se han utilizado materiales de carácter local tales como la piedra, la madera, el corcho, etc., lo que se traducía en unos costes energéticos e impactos ambientales reducidos.

Así mismo, existía una adaptación del diseño del edificio a las condiciones climáticas locales, lo que repercutía en una mayor calidad del edificio y un mayor confort térmico para los ocupantes. En la actualidad, el uso masivo de materiales de carácter global como el cemento, el aluminio, el hormigón, el PVC, etc., ha causado un incremento notable en los costes energéticos y medioambientales.

Según diversos estudios, la fabricación de los materiales precisos para construir un metro cuadrado de una edificación estándar puede suponer la inversión de una cantidad de energía equivalente a la producida por la combustión de más de 150 litros de gasolina. Cada metro cuadrado construido conllevaría una emisión media de 0,5 toneladas de dióxido de carbono y un consumo energético de 1600 kWh (que variaría en función del diseño del edificio) considerando solamente el impacto asociado a los materiales².

El Análisis de Ciclo de Vida conocido como Life Cycle Assessment (LCA), es un procedimiento objetivo cuya finalidad es evaluar los impactos al medioambiente y a la salud, asociados a un producto, proceso, servicio u otra actividad económica; es una de las metodologías más adecuadas para evaluar el impacto ambiental de cualquier tipo de producto o servicio, y, por tanto, puede aplicarse sobre un material o solución constructiva, o bien sobre un edificio o grupo de edificios.

La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del producto o servicio, en la que se estudian los aspectos medioambientales y los impactos potenciales a lo largo de la vida de un servicio o producto incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso y la valorización del mismo. Se distinguen tres procesos de Análisis de Ciclo de Vida, en adelante ACV:

- ✓ **“de cuna a puerta”** en la que se tiene en cuenta la extracción, tratamiento de materias primas, transporte y proceso de producción.
- ✓ **“de cuna a tumba”** se estudian, además de los procesos anteriores, la distribución del producto, el uso, mantenimiento, reutilización, reciclado y eliminación.
- ✓ **Cradle to Cradle (C2C)** es que todo material puede ser reutilizado infinitas veces, creando un ciclo perpetuo que además llega a crecer o mantener una economía

² EcoHabitat. Impacto de los materiales de construcción, análisis del ciclo de vida. *EcoHabitat* [en línea] Olba, Teruel 2014 [consulta: 7 enero 2016]. Disponible en: <http://www.ecohabitat.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/>

nueva en la que unos residuos constituyan el alimento del otro. 'Cradle to Cradle' significa literalmente de la cuna a la cuna o del origen al origen. Se inspira en que no hay lugar para el concepto de residuo, dado que los residuos de un organismo son los nutrientes de otro. El concepto clave 'Residuo = Alimento' elimina la noción de residuo como negativo, y permite conservar la biodiversidad y los recursos para las generaciones futuras e incluso su rentabilidad ya que sus residuos son ahora 'alimento' para nuevos materiales. Por tanto, estamos transformando el desarrollo de la construcción de un proceso lineal a un proceso cíclico.

Es obvio que existe una interacción entre todas las etapas de la vida de un edificio, por esto es conveniente llevar a cabo un abastecimiento responsable de productos de la construcción, teniendo un enfoque integral para la gestión de un producto desde el punto en el que los materiales componentes se extraen o cosechan, pasando por la fabricación, procesamiento, transporte, colocación, uso y reutilización, reciclado o eliminación. Es decir, medir todos los impactos en cada etapa de la vida de un producto.

En la actualidad, la metodología del ACV es aceptada como base sobre la que comparar materiales, componentes y servicios alternativos. La metodología de aplicación general está totalmente estandarizada a través de las normas UNE EN ISO 14040:2006 y UNE EN ISO 14044:2006, y consta de 4 fases interrelacionadas:

- a) Definición del objetivo y el alcance que depende del tema y del uso previsto del estudio.
- b) Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV), consiste en una recopilación de los datos que necesitamos para llevar a cabo el estudio.
- c) Evaluación del impacto medioambiental (EICV) tiene el objetivo de proporcionar información adicional para ayudar a evaluar los resultados del ICV de un sistema del producto a fin de comprender mejor su importancia ambiental.
- d) Interpretación de los resultados del ICV y del EICV.

Generalmente el ACV no considera los asuntos económicos o sociales relacionados con el producto, pero el enfoque del ciclo de vida y las metodologías antes descritas se pueden aplicar a estos otros procesos.

La aplicación de la metodología de ACV en edificios conlleva innumerables ventajas para el sector de la construcción: facilita la toma de decisiones por parte de las empresas de la construcción y organizaciones con vistas a la planificación de estrategias de ecoeficiencia en la edificación, la identificación de oportunidades para mejorar los impactos medioambientales en el sector de la construcción, considerando el ciclo de vida completo de los edificios, el establecimiento de

prioridades para el diseño ecológico o la eco-rehabilitación de edificios, la selección adecuada de proveedores de materiales constructivos y equipos energéticos, el establecimiento de estrategias y políticas para gestionar los residuos de la construcción y el transporte de materiales, la definición de nuevos programas de I+D+I, etc.

Los Resultados de un Análisis del Ciclo de Vida se presentan mediante la Declaración Ambiental de Producto, DAP (Environmental Product Declaration, EPD), que es un documento que se fundamenta en directrices ISO (entre otras la ISO 14025, ISO 21930, ISO 15804) y tiene como finalidad aportar información cuantitativa de los impactos ambientales que comporta un producto a lo largo de su Ciclo de Vida. Es conocida como “Eco-etiqueta tipo” y, en sí misma, no definen criterios de preferencia ambiental ni establecen requisitos mínimos a cumplir, simplemente informan. En este sentido, se trata de analizar el Ciclo de Vida de un material y ofrecer esta información para la toma de decisiones de proyecto y ejecución de obras. Debe estar verificada por una tercera parte independiente y reconocida.

Dentro de este ciclo que estamos analizando y como se ha explicado, una de sus finalidades es evaluar los impactos a la salud. En España, la información sobre los efectos en la salud de los productos de construcción se ofrece a cuentagotas. Sabemos que el poliestireno emite humos tóxicos en caso de incendio y pentano durante la instalación; que las lanas minerales pueden causar afecciones dermatológicas importantes, por no mencionar el riesgo de asma, debido a los aglutinantes³. Además también sabemos que ya en 1982 la Organización Mundial de la Salud (OMS) clasificó al 80% de los edificios como enfermos. Sin embargo todavía no hay datos fiables o son insuficientes tanto para los aislamientos de origen mineral y sintético como para los de origen natural y su instalación, ya que también requieren tomar algunas precauciones.

Por tanto, uno de los aspectos a tener en cuenta es el control de los procesos de producción de los productos, lo que implica también el control de la calidad ambiental interior de las propias instalaciones donde se realizan los procesos, cuyas condiciones condicionan de manera directa la salud de los trabajadores. Así que, lograr un ambiente de trabajo seguro y saludable es uno de los aspectos de la variable social de la sostenibilidad de los materiales como parte de la sostenibilidad en la construcción.

³ 1987: OMS clasifica la lana de vidrio y la lana de roca como posibles cancerígenos en el grupo 2B. 1997: La Directiva de la UE del 05/12 clasifica a las fibras de aislamiento de lana de vidrio como posible carcinógeno pero insuficientemente evaluadas con la posibilidad de riesgos irreversibles.

2001: OMS reclasifica las lanas minerales en la categoría 3 o sea que no son clasificables en cuanto a su potencial cancerígeno en el hombre. Aparentemente los fabricantes han trabajado para reducir la biopersistencia de las fibras.

Fuente: Aislamientos ecológicos. *EcoHabitar*. Olba (Teruel): EcoHabitar Visiones sostenibles. 2011, nº 30, pp. 22 - 31. ISSN: 1697-9583.

Un compuesto presente en algunos materiales aislantes de origen natural es el ácido bórico empleado como retardante de la llama y control de plagas. Según la ONU, a finales de los años sesenta, se restringe el uso del ácido bórico en preparados farmacéuticos por muchas autoridades reguladoras, debido al fallecimiento de muchos niños por la aplicación de elevadas concentraciones de ácido bórico contenido en preparados tópicos utilizados en el tratamiento de erupciones causadas por los pañales⁴. Actualmente sólo se ha encontrado información preventiva en lo que respecta a la colocación de materiales que contienen estos compuestos; aconsejando tomar precauciones usando mascarilla y gafas, ya que la exposición a pequeñas cantidades de este compuesto puede causar irritación de nariz, garganta y ojos, efectos sobre la reproducción humana de categoría tipo 1B⁵ y, en caso de ser ingerido, puede producir náuseas e irritación del tracto digestivo; además de provocar depresión del sistema nervioso central y daño en los riñones. En esta fase se debe procurar también una correcta puesta en obra y así, evitar que las fibras del producto afecten a la calidad del aire interior.

En altas dosis, la toxicidad de la sal de boro se ha demostrado. Según las autoridades canadienses, *"la dosis puede provocar una intoxicación aguda mortal en los animales, dosis entre 400 y 900 mg de equivalentes de boro por kilogramo. Envenenamiento accidental en seres humanos hay datos que indican que la dosis de ácido bórico puede causar intoxicación aguda fatal es de 15 a 20 g para los adultos, de 5 a 6 g en niños y 2 a 3 g en lactantes"*.

⁴ ONU. *Lista consolidada de productos cuyo consumo o venta han sido prohibidos, retirados, sometidos a restricciones rigurosas o no han sido aprobados por los gobiernos. Productos farmacéuticos. Octava edición.* Nueva York, 2006. ISBN:92-1-330179-0

⁵ Se supone que son tóxicos para la reproducción humana. Se basan en datos que proceden de estudios con animales. Información extraída de: Xunta de Galicia. Nova etiqueta dos produtos químicos canceríxenos, mutáxenos, tóxicos para a reprodución (CMR) e sensibilizantes (regulamento CLP). *Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo*, 2016 [correo electrónico] [Consulta: 2 junio del 2016]

3. Materiales aislantes: características y propiedades

3.1. Definición y propiedades

Los **materiales aislantes** son productos que presentan una elevada resistencia al paso del calor, reduciendo la transferencia de éste a su través, es decir, aíslan del frío o del calor, produciendo un ahorro en la utilización de energía al aumentar la resistencia térmica de la envolvente y mejorando el confort térmico.

Es importante tener en cuenta que un buen aislamiento es aquel que, además de alcanzar valores idóneos, se aplica convenientemente, eliminando puentes térmicos, evitando condensaciones superficiales e intersticiales, etc. También se debe tener presente que los distintos elementos de la envolvente térmica tienen una diferente repercusión en las pérdidas energéticas totales finales de un edificio.

El CTE DB HE 1 define los productos para los cerramientos mediante su *conductividad térmica* λ (W/m·K) y el *factor de resistencia a la difusión del vapor de agua* μ . En su caso, además se podrá definir la densidad ρ (kg/m³) y el calor específico, c_p , (J/kg·K). Considera aislante térmico aquel material que tiene una conductividad térmica menor que 0,060 W/mK y una resistencia mayor que 0,25 m²K/W. En general y salvo justificación, los valores de diseño serán los definidos para una temperatura de 10°C y un contenido de humedad correspondiente al equilibrio con un ambiente a 23°C y 50 % de humedad relativa.

La norma UNE EN 13162 establece un criterio selectivo según el cual quedan fuera de su ámbito los materiales con una conductividad térmica (λ) superior a 0.060 W/mK (medida a 10°C) o cuya resistencia térmica sea inferior a 0.25 m²K/W, siempre refiriéndose al aislamiento térmico de la edificación.

De otra parte, la forma de migración del calor al edificio tiene también transcendencia en la magnitud y la manera de aislar. Conducción, convección y radiación actúan de forma distinta según se trate del suelo, de las paredes o de los techos, por la propia condición del flujo. Así, debemos conocer y entender cada uno de estos tres conceptos:

- ✓ Conducción fenómeno por el cual la energía térmica se transmite de regiones de alta temperatura a regiones de baja temperatura dentro de un mismo material o entre diferentes cuerpos sólidos. Se produce mediante el intercambio de la energía cinética entre moléculas contiguas. Para que exista conducción térmica entre dos cuerpos, éstos deben estar en contacto y se producirá hasta que se alcance el equilibrio térmico.
- ✓ Convección mecanismo de transmisión de calor que tiene lugar en un fluido (líquido o gas) provocado por los movimientos de la masa del mismo que provocan el transporte del calor.

- ✓ **Radiación** emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas que se manifiesta en cualquier cuerpo por el simple hecho de encontrarse a una cierta temperatura. Es el método de transferencia de calor que no precisa de contacto entre la fuente de calor y el receptor.

La cantidad de calor emitida por una superficie depende de su temperatura y su naturaleza; esta cualidad se conoce como **emisividad**, que podemos definir como la capacidad de los materiales para emitir radiación térmica.

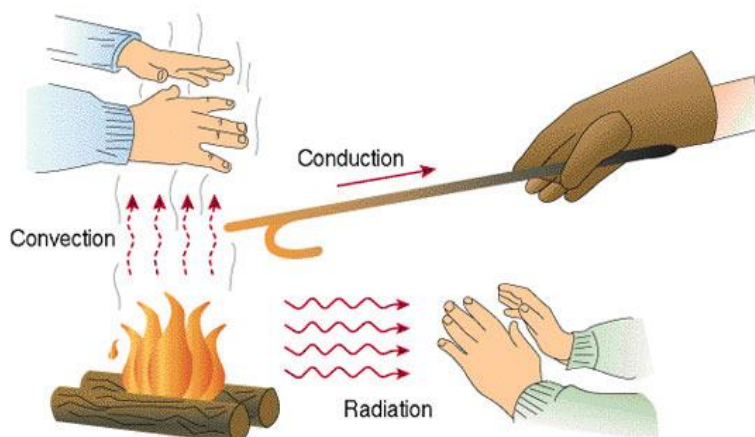


Ilustración 1 Formas de transmisión de calor. Fuente: Nergiza⁶

Conocidos estos conceptos, debemos hablar de otros no menos importantes en el estudio de los aislamientos térmicos:

La principal característica de un material aislante térmico es la **conductividad térmica** (λ) que es la propiedad física de los materiales que mide su capacidad de conducción del calor, es decir, la cantidad de energía que atraviesa, en la unidad de tiempo, una unidad de superficie y de espesor de un elemento constructivo, cuando entre dichas caras hay un gradiente térmico unidad. Las unidades de conductividad térmica en el Sistema Internacional son $W/(m \cdot K)$, aunque también se expresa como $kcal/(h \cdot m \cdot ^\circ C)$, siendo la equivalencia: $1 W/(m \cdot K) = 0,86 kcal/(h \cdot m \cdot ^\circ C)$.

$$\lambda = U \cdot e$$

Los factores que pueden influir en la conductividad térmica son los siguientes:

- ❖ **Temperatura ambiente:** en general la conductividad será menor cuanto menor sea la temperatura ambiente.
- ❖ **Humedad:** aunque cada material tiene su propio comportamiento, puede decirse que la conductividad aumenta a razón de un 3,7% por cada 1% de variación del contenido de agua en volumen. De acuerdo con UNE-EN ISO 10456, el factor de incremento de la

⁶ Formas de transmisión de calor. En: nergiza [web] [s.l.]: [s.n.], 2013 [consulta: 13 febrero 2016]. Disponible en: <http://nergiza.com/wp-content/uploads/transferencia-de-calor.jpg> en <http://nergiza.com/radiacion-conduccion-y-conveccion-tres-formas-de-transferencia-de-calor/>

conductividad aumenta de forma no lineal para valores de contenido de humedad superiores al 5%.

- ❖ *Densidad*: esta aumentará al eliminar el aire que contienen los poros del material analizado; incrementándose también la cantidad de energía necesaria para calentarlo. Por otra parte, cada material tendrá un comportamiento específico en su relación densidad/aislamiento. Así, por ejemplo, los aislantes procedentes del petróleo (poliuretano, Poliestireno expandido,...) disminuyen la conductividad con el aumento de la densidad, pero con la fibra de madera ocurre exactamente lo contrario.
- ❖ *Anisotropía*: los materiales anisótropos son aquellos que no tiene la misma estructura según la dirección en que se mide. Suele ser acusada en los materiales orgánicos y fibrosos, como por ejemplo, la madera. En ella la conductividad es mayor en dirección de la fibra que en la dirección transversal a la misma. Esta característica puede hacerse extensiva a la forma y distribución de los poros del material.
- ❖ *Porosidad*: grado de volumen del material que resulta ocupado por los poros.
- ❖ *Espesor del aislante*: la conductividad térmica de un material varia también con el espesor, aun cuando su valor λ hace abstracción del espesor y se refiere exclusivamente a las dimensiones superficiales unitarias. Así que podemos afirmar que, a mayor espesor, el coeficiente de conductividad disminuye ligeramente, debido al efecto de acumulación y posterior dispersión calórica.

La inversa de la conductividad térmica es la **resistencia térmica de un material**, que es la capacidad de los materiales para oponerse al flujo del calor. Sus unidades son $\text{m}^2\text{K/W}$.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Siendo:

e = espesor de la capa (m)

λ = conductividad térmica del material ($\text{W/m} \cdot \text{K}$)

La **resistencia térmica total R_t de un elemento constructivo** es la suma de las resistencias térmicas superficiales y la resistencia térmica de las diferentes capas que lo componen.

$$R_T = R_{Si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{Se}$$

Siendo:

R_1, R_2, \dots, R_n = resistencias térmicas de cada capa

R_{Si}, R_{Se} = resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior (tabla 1, CTE DB-HE 1)

Transmitancia térmica (U) la define el CTE y la UNE-EN ISO 7345 como el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperatura de los medios situados a cada lado del sistema. Las unidades en el Sistema Internacional son W/m^2K .

$$U = \frac{\Phi}{(T_1 - T_2) \cdot A}$$

$$U = \frac{1}{R_t}$$

Siendo R_t resistencia térmica total de un elemento constructivo.

Como se puede observar, cuanto menor es su valor mejor es el comportamiento del aislante térmico.

Resistencia a la difusión del vapor de agua (μ) indica cuánto mayor es la resistencia del material con relación a una capa de aire estacionario del mismo espesor a la misma temperatura. Es adimensional. El valor de esta resistencia para el aire, que es el valor de referencia, es $\mu=1$.

$$\mu = \frac{\delta_{aire}}{\delta_{material}} \text{ (adimensional)}$$

Donde:

δ_{aire} permeabilidad al vapor de agua del aire

$\delta_{material}$ permeabilidad al vapor de agua del material

Un buen aislante debe evitar la penetración del vapor de agua, con el fin de evitar un aumento significativo de la conductividad térmica durante el curso de la vida de uso de un producto. Aunque se debe tener en cuenta que no debemos construir un cerramiento totalmente estanco, debe poder “respirar”, lo que evitará la formación de posibles condensaciones en un futuro que pueden hacer mermar la capacidad aislante del material.

Y para comprender mejor este concepto, es necesario relacionarlo con los siguientes:

Resistencia al vapor de agua (Z_p) es la resistencia total de un material o combinación de varios, de espesor e , a la difusión del vapor de agua. Para mejorarla, se emplean barreras de vapor; que son cualquier lámina o material que ofrezca gran resistencia al paso de vapor de agua. Se utilizan ampliamente para evitar las condensaciones intersticiales.

$$Z_p = \frac{e}{\alpha_v} = e \cdot r_v \text{ (m}^2 \cdot s \cdot Pa/kg\text{)}$$

Permeancia al vapor de agua (W_p) cociente entre la densidad de flujo de vapor de agua y la diferencia de presión de vapor de agua entre las dos caras de la probeta. Es el recíproco de la resistencia al vapor de agua.

$$W_p = \frac{1}{Z_p} = \frac{\delta}{e} \text{ (kg/m}^2\cdot\text{s.Pa)}$$

Permeabilidad al vapor de agua (δ_p) es la cantidad de vapor que pasa a través de la unidad de superficie de material de espesor unidad cuando la diferencia de presión de vapor entre sus caras es la unidad. Su inversa es la **resistividad al vapor** (r_v). Sus unidades en el S.I. son kg/m.s.Pa.

Debemos considerar también los siguientes conceptos:

El comportamiento de los materiales teniendo en cuenta su espesor, es decir, valorando el **espesor de la capa de aire equivalente a la difusión del vapor de agua** (S_d) que es el espesor que tiene que tener una capa de aire sin movimiento para tener la misma resistencia (o permeancia) al vapor de agua que la probeta de espesor e .

$$S_d = \mu \cdot e$$

El **flujo de vapor de agua** (G) es la masa de vapor de agua transferida a través de la probeta por unidad de tiempo (kg/s).

La **densidad de flujo de vapor de agua** (g) es la masa de vapor de agua transferida a través de la probeta por unidad de tiempo y unidad de superficie (kg/m².s).

La **higroscopicidad**, otro concepto importante, es la capacidad que tienen los materiales de absorber humedad atmosférica. Esta propiedad en un aislamiento térmico ayuda a mantener el ambiente interior seco y a evitar daños en otros materiales de paredes y techos, razón por la que es recomendable que la cámara de aislamiento no sea completamente hermética al vapor.

Capilaridad es la capacidad de un material de absorber a un líquido, estando ambos en contacto.

Densidad (ρ) es la masa de un material que existe por unidad de volumen (kg/m³).

Calor específico (Ce) capacidad que tiene un material para acumular energía en su unidad de masa. Sus unidades son J/kg·K ó Kcal/Kg °C. Esta cantidad es variable y va desde el valor máximo del agua, 4,18KJ/Kg °C (1 Kcal/Kg °C), hasta valores menores como 0,92KJ/Kg °C (0,22 Kcal/Kg °C) para el hormigón ó 1,25KJ/Kg °C (0,30 Kcal/Kg °C) para la roca sólida.

$$C_e = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}$$

Las sustancias más adecuadas para acumular energía térmica son los fluidos, ya que en ellos, gracias a la convección que se establece en su seno, el calor se distribuye uniformemente, sin calentamientos superficiales excesivos, reduciendo, de este modo, las pérdidas. De entre todos los fluidos, el más adecuado es el agua, por su densidad, pero sobre todo por su alto calor específico. No obstante, la incorporación de masas líquidas en un edificio, con el objeto de calentarlas, resulta muy complejo, y únicamente permitirán su integración los dispositivos muy bien diseñados.

Inercia térmica capacidad para almacenar calor (energía), conservarlo y liberarlo de una manera paulatina, disminuyendo la necesidad de aportación de climatización. No se trata de una magnitud física en sí misma, sino que depende de las características del material como calor específico, masa, densidad o coeficiente de conductividad térmica.

La capacidad térmica de un material homogéneo se puede expresar:

$$C = m \cdot C_p = V \cdot \rho \cdot C_p$$

Donde:

C calor almacenado por grado de diferencia de temperatura (Kcal/°C)

m masa (Kg)

Cp calor específico (Kcal/Kg °C ó J/kg K)

V volumen (m³)

ρ densidad (kg/m³)

Cuando aumenta la temperatura del aire exterior sobre un muro, así como la radiación solar, se produce una elevación de la temperatura superficial de su cara externa, la cual, si es superior a la temperatura de su cara interna, provoca un flujo de calor desde el exterior hacia el interior.

Si suponemos un muro dividido en varias capas paralelas a sus caras (como suele ser habitual en edificación), a medida que el flujo de calor penetra en él se van elevando sucesivamente las temperaturas de dichas capas. Esta elevación se debe a la acumulación sucesiva de calor, el cual es restado del flujo. Una vez que una capa cualquiera no puede admitir más calor, por haber alcanzado su máxima capacidad de acumulación, lo transfiere a la capa siguiente, que está más fría. Así, sucesivamente, cada capa recibe menos calor que la anterior, con lo cual se va reduciendo el flujo calorífico y, en consecuencia, se amortigua su oscilación. De esta manera queda almacenada una

gran cantidad de calor en el muro y solamente una pequeña fracción de flujo inicial alcanza su cara interior.

Por tanto, vemos que un cerramiento convencional confía su poder aislante al material especializado en ello. Sin embargo los demás materiales también tienen su contribución al aislamiento total, aunque en menor grado.

Dilatación térmica: aumento de las dimensiones de un cuerpo por variación de la temperatura. Así tenemos el coeficiente de dilatación térmica que expresa el aumento de la longitud, área o volumen de la unidad cuando la temperatura se eleva 1°C. Podemos distinguir tres casos en función del número de dimensiones que predominen en el cuerpo:

- ⊕ Dilatación lineal: se produce cuando una dimensión predomina sobre las otras dos. La dilatación lineal viene dada por la expresión:

$$l=l_0 \times (1 + \lambda \times \Delta T)$$

Donde:

- l, l_0 : longitud final e inicial del cuerpo (m)
- λ : coeficiente de dilatación lineal, específico de cada material y representa el alargamiento que experimenta la unidad de longitud de un sólido cuando su temperatura se eleva 1K. Su unidad de medida en el S.I. es el K^{-1} , aunque también se usa el $^{\circ}C^{-1}$.
- ΔT : incremento de temperatura que experimenta el cuerpo. Su unidad de medida en el sistema internacional es el kelvin (K), aunque también se utiliza el $^{\circ}C$.

- ⊕ Dilatación superficial: se produce cuando predominan dos dimensiones (superficie) frente a una tercera. La dilatación superficial viene dada por:

$$S=S_0 \times (1 + \sigma \times \Delta T)$$

$$\sigma=2 \times \lambda$$

Donde:

- S, S_0 : área final e inicial respectivamente del cuerpo (m^2)
- σ : coeficiente de dilatación superficial, específico de cada material y representa el aumento de superficie de un sólido de área unidad, cuando su temperatura se eleva 1K. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el K^{-1} , aunque también se usa el $^{\circ}C^{-1}$.
- ΔT : incremento de temperatura que experimenta el cuerpo. Su unidad de medida en el sistema internacional es el kelvin (K), aunque también se utiliza el $^{\circ}C$.

Definición y propiedades

- ⊕ Dilatación volumétrica: se produce cuando las tres dimensiones de un cuerpo son igualmente relevantes.

$$V = V_0 \times (1 + \gamma \times \Delta T)$$

$$\gamma = 3 \times \lambda$$

Donde:

- V, V_0 : volumen final e inicial respectivamente del cuerpo (m^3)
- γ : coeficiente de dilatación volumétrica o cúbica, específico de cada material y representa el aumento de volumen de un sólido de volumen unidad, cuando su temperatura se eleva 1K. Su unidad de medida en el S.I. es el K^{-1} , aunque también se usa el $^{\circ}C^{-1}$.
- ΔT : incremento de temperatura que experimenta el cuerpo. Su unidad de medida en el sistema internacional es el kelvin (K), aunque también se utiliza el $^{\circ}C$.

Gradiente térmico: diferencia de temperatura entre dos espacios separados por un paramento. En el caso del cerramiento de una vivienda ($\Delta T = T_e - T_i$) se produce un flujo de calor a través de dicho paramento, desde el espacio más caliente al más frío. El flujo de calor se produce en dos sentidos; en invierno *emisión* (flujo de calor hacia el exterior) y en verano *inmisión* (flujo de calor hacia el interior).

Hidrófobo: material que no absorbe agua.

Difusividad: mide la velocidad a la que la temperatura cambia dentro de una sustancia. Sus unidades en el Sistema Internacional son m^2/s .

$$a = \frac{\lambda}{c_e \cdot \rho}$$

Las soluciones constructivas de aislamiento deberán abordar cada una de las formas de transmisión de calor. Para ello vamos a analizar cuatro grupos en los que podremos englobar estos materiales:

- Aislamiento conductivo (materiales aislantes) es el más habitual y el que se tratará en este trabajo de investigación. Actúan dificultando la transmisión de calor a través de su masa; reduce el ritmo de transmisión de calor a través de los cerramientos y es eficaz cuando hay grandes diferencias de temperatura entre el interior y el exterior. La presencia de un material aislante resulta imprescindible cuando la diferencia de temperaturas supera los 10°C.

Aquí vamos hablar de los aerogeles, materiales que no analizaremos en este trabajo, pero que merecen una mención por su capacidad de aislamiento térmico. El aerogel o el humo helado es un material coloidal similar al gel, en el cual el componente líquido es cambiado por un gas, obteniendo como resultado un sólido de muy baja densidad (3 mg/cm^3 ó 3 kg/m^3) y altamente poroso, con ciertas propiedades muy sorprendentes, como su enorme capacidad de aislante térmico (con un coeficiente de conductividad térmica $\lambda = 0,011 - 0,013 \text{ W/mk}$). Este material está generalmente compuesto por un 90,5% a un 99,8% de aire, es mil veces menos denso que el vidrio y unas tres veces más denso que el aire. El problema que tiene este material es que es muy frágil.



Ilustración 2 Aerogeles. Fuente: areatecnologia-aerogel⁷

- Aislamiento convectivo (cámaras de aire ventiladas) su empleo está recomendado en lugares donde la carga solar sea elevada y se desee romper la onda térmica que se establece entre el exterior irradiado y el interior; al ventilar la cámara el calor absorbido por la capa exterior se disipa mediante la ventilación.

Aquí debemos hablar del aire, ya que es uno de los materiales más aislantes por sí mismos, con un coeficiente de conductividad térmica, λ , de hasta $0,024 \text{ W/mk}$. Sin embargo su

⁷ Aerogeles. En: Areatecnología [web] [s.l.]: [s.n.], 2014 [consulta: 15 febrero 2016] Disponible en: <http://www.areatecnologia.com/materiales/imagenes/aerogeles.jpg> en <http://www.areatecnologia.com/materiales/aerogel.html>

potencia aislante exige que se halle confinado, de manera que no se puedan producir corrientes de convección.

En general debemos tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La Transmitancia térmica total de una cámara de aire aumenta (esto es si disminuye su resistencia) con el espesor de dicha cámara a partir de un cierto valor, determinado en aproximadamente entre 2 y 3cm para las cámaras de aire verticales no ventiladas⁸.

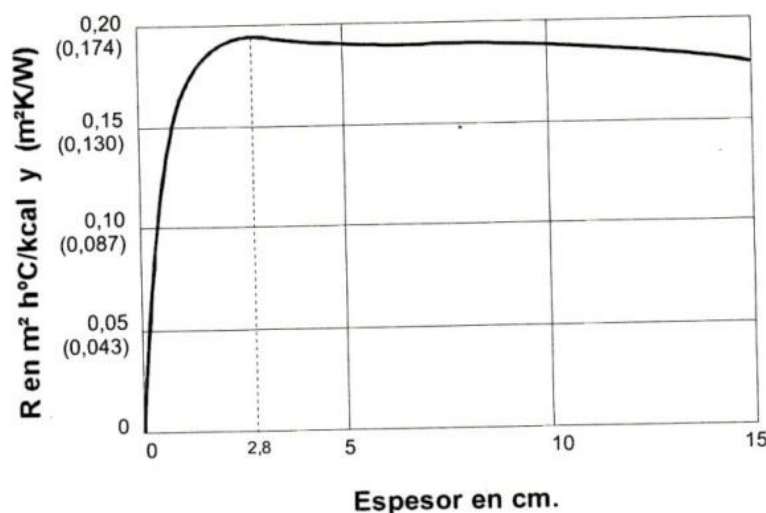


Ilustración 3 Variación de la resistencia térmica total de una cámara de aire vertical en función de su espesor. Fuente: PASTOR JUAN, 2012⁸

- Debemos darle importancia a la emisividad de las paredes confinadoras de la cámara. El hecho de incorporar una superficie de poca emisividad, como por ejemplo, una hoja de aluminio de emisividad 0,2 en el paramento caliente de la cámara de aire, puede duplicar la resistencia térmica de la cámara de aire.

Si en el cerramiento existe una discontinuidad física creada por una cámara de aire, habrá que añadir al conjunto de resistencias la propia de ese elemento. Como es fácil de suponer, en una cámara de aire no se producen transmisiones por conducción, salvo en los elementos de borde, pero sí se producen por convección y por radiación, al estar las dos caras que delimitan la cámara a distinta temperatura. El más importante de estos factores, el convectivo, puede optimizarse teniendo en cuenta que las capas límite implican un gradiente térmico, lo que indica que esas capas están ofreciendo una resistencia al paso del calor. Fuera de ellas ya no existe ese gradiente térmico por ser una zona de movimiento libre y temperatura constante por los intercambios de masas de aire, por tanto, para obtener la máxima resistencia, el espesor de la cámara debe ser el más óptimo posible, de tal modo que

⁸ PASTOR JUAN, Alfonso. *Dossier: Aislantes térmicos en la edificación. Materiales. Exigencias normativas. Directorios*. Alicante: Stampa Edición Digital, S.L. 2012, 72p. ISBN 978-84-938147-2-4

no quede entre ellas ninguna zona de movimiento libre de aire. Si la cámara de aire es mayor de esa dimensión óptima, habrá una zona de movimiento libre de aire que no ofrece resistencia por el ascenso de aire caliente reemplazado por el frío descendente.

Finalmente, también se ha de tener en cuenta la ventilación de la cámara, condicionada por las condiciones de comportamiento higrotérmico del cerramiento. Así hay que considerar los orificios de ventilación, los cuales posibilitan –en tanto mayor medida cuanto mayor sea su superficie- la nivelación de la temperatura del aire de la cámara con la del exterior, según la ley de vasos comunicantes. Como consecuencia, el gradiente de temperatura entre el aire de la cámara y el interior será mayor cuanto más ventilada esté la cámara, por lo cual podemos concluir que a mayor ventilación, menor aislamiento térmico proporcionará una cámara de aire.

- Aislamiento radiante
- Aislantes reflectores o multi-reflectores que son materiales multicapa, compuestos por láminas reflectoras de baja emisividad que actúan como barrera a la transmisión de calor por radiación. Su composición es a base de láminas de aluminio, con láminas de plástico, láminas de burbujas de aire seco de varias dimensiones, guatas, láminas de poliéster, etc... combinando estas capas según el tipo de aislante. Las láminas de aluminio reflejan la radiación solar gracias a su alto índice de capacidad de reflexión, mientras que la matriz de burbuja de aire y otros componentes impiden la transmisión del calor por conducción y convección. Estos aislantes actúan frente a los tres tipos de transmisión de calor.

El comportamiento de estos materiales aislantes no se puede evaluar con los parámetros establecidos por el CTE. Por ello, para determinar su eficacia, las casas comerciales han desarrollado una metodología empírica en mediciones in-situ, que consiste en aislar dos casas idénticas con dos aislamientos distintos y comparar el consumo energético para mantener una temperatura interior constante.

Estos materiales suponen un buen complemento de los aislantes conductivos pues actúan en dos direcciones. La primera, evitan el sobrecalentamiento por radiación solar en verano y, la segunda, conservan el calor (radiación interior).

Los parámetros que definen la eficacia de un aislante multi-reflector son:

- Emisividad (e) a menor “e”, mayor aislamiento
- Número de láminas reflectoras. A mayor número, mayor aislamiento
- Eficacia térmica, R_T . Cuanto mayor es ésta, mayor será el aislamiento

- Aislamiento orgánico en forma de superficies vegetales absorbentes como las cubiertas

En cuanto a su estructura interna podemos clasificar los materiales aislantes en dos tipos:

- ✓ Aislantes de fibra cerrada, con masas de aire ocluidas en el interior del material aislante.
- ✓ Aislantes de fibra abierta, con masas de aire comunicadas en el interior del material aislante.

Las aplicaciones de los materiales de aislamiento y sus formas de comercialización son:

- **Paneles rígidos** para cerramientos verticales y horizontales.
- **Manta flexible** para cerramientos horizontales.
- **Panel flexible** para superficies irregulares.
- **Inyección** y relleno para cámaras de aire.
- **Proyección** sobre superficies irregulares y techos.
- **Coquillas** para canalizaciones y tuberías.
- **Aditivo** para morteros.
- **Bloques estructurales** para muros y forjados.

3.2. Algodón

3.2.1 Naturaleza y composición

Su nombre científico es *Gossypium*, género encuadrado en la familia de las Malváceas. El capullo de este arbusto se transforma en una bola oval que, cuando madura, se abre y descubre semillas de color negro cubiertas de una masa de pelos blancos (ilustración 4⁹). Al madurar completamente y secarse, estos pelos se convierten en una célula aplanada y retorcida en espiral unida a una semilla. La longitud de



Ilustración 4 Flor del algodón. Fuente: el sol de México

estas fibras puede oscilar entre 1,3 y 6 cm. De estas semillas nacerán otras fibras más cortas. Esta fibra natural se cultiva en regiones cálidas desde la antigüedad (los primeros restos datan del año 3.000 a.C.).

Los aislamientos de algodón pueden provenir de algodón natural o de algodón reciclado de la industria textil.

En el primer caso, se cultiva la planta de algodón de la que se extrae el producto aislante final. En este caso los procesos de cultivo suelen ser poco respetuosos con el medio ambiente.

En el segundo caso, se trata de una manta de algodón reciclado que se fabrica a partir de retales textiles de confección, desfibrados.

3.2.2 Proceso de fabricación

Una vez obtenida la materia prima, la cual proviene de la industria textil, residuos textiles pre y post consumo; el proceso de fabricación tanto del aislamiento de algodón natural como del reciclado consta de tres fases¹⁰:

- ✓ Desfibrado: descomponer el capullo de la planta del algodón o descomponer los residuos textiles; se meten en unos hornos, llegando a temperaturas de 160°C hasta 200°C¹⁰. En este proceso se mezclan las fibras con los productos fungicidas y retardantes de llama como pueden ser fosfatos ó sales de bórax.
- ✓ Airlay o vía aérea es el proceso de confección del producto final, mantas o placas. Las fibras son suspendidas en un flujo de aire y después son colectadas en una tela formando la manta. Como aglutinante se emplea poliéster. La composición de la fibra es un 70 - 85% de algodón

⁹ [Flor del algodón] En: el sol de México [web] México: el sol de México [consulta: 25 febrero 2016] Disponible en: <https://elsoldemexico.com.mx/ciencia-y-tecnologia/96787-petalos-de-flor-de-algodon-podrian-ayudar-en-alzheimer>

¹⁰ GEOPANNEL, *Aislamientos térmicos* [correo electrónico]. 16 marzo 2016

Algodón

y un 15 - 30% de otras fibras¹¹ (fibra de relleno como el cáñamo y un aglutinante termoplástico, poliéster), con una variación de +/- 5%.

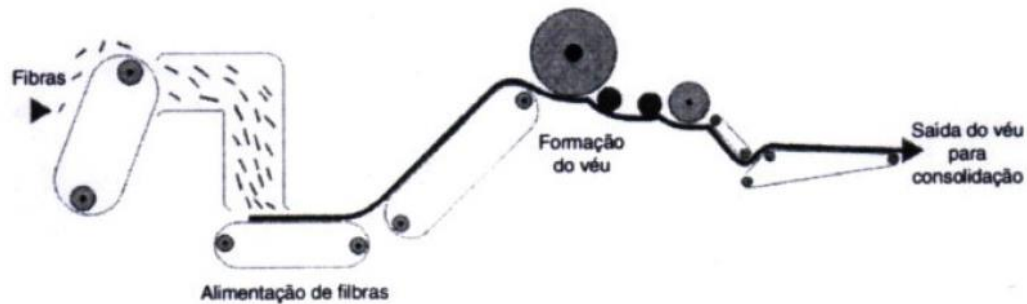


Ilustración 5 Proceso de fabricación Airlay. Fuente: megaplastic.com¹²

- ✓ Curado por aire caliente para la consolidación del producto final.

La fibra que se obtiene del algodón reciclado se denomina multifibra, dada la diversidad de texturas y colores de los retales, dando como color final un multicolor.

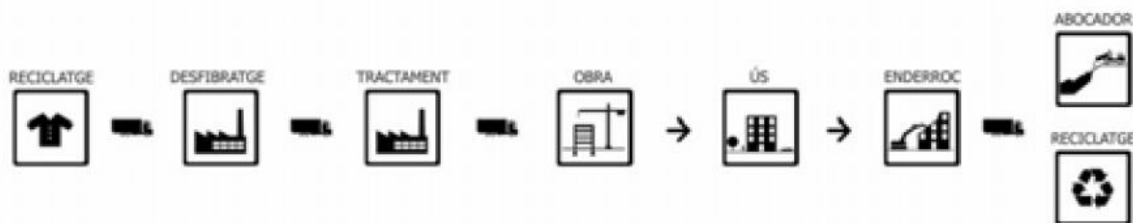


Ilustración 6 Esquema del ciclo de vida del aislamiento de algodón reciclado. Fuente: Societat orgànica¹³

Tratamiento	MJ/kg	Kg2/kg
Tratamiento con bórax	7,46	0,46

Tabla 1 Energía y CO2 para el tratamiento de biocidas y compuestos minerales de la manta multifibras de algodón. Fuente: Societat orgànica¹³

En este momento únicamente se comercializan en España las “**Fibras Porofib**”, nombre comercial con el que se distribuyen mantas fabricadas con fibra de algodón virgen y con fibra de algodón de textil reciclado. Existen tres tipos:

¹¹ Logrotex. *Catálogo de aislantes*. Logroño: Logrotex, 2012 [Consulta: 25 febrero de 2016] Disponible en: <http://www.logrotex.com/files/descargas/catalogo-aislantes-es.pdf> > la composición es de 80% algodón y 20% poliéster

Datos extraídos de :

GEOPANNEL, *Aislamientos térmicos* [correo electrónico]. 16 marzo 2016

¹² MEGAPLASTIC. *Manual de no tejidos. Clasificación, identificación y aplicaciones* [en línea]. Buenos Aires:

ABINT, 2012 [consulta: 3 mayo 2016] Disponible en:

http://www.academia.edu/7127851/Informaci%C3%B3n_t%C3%A9cnica_Non-woven_Manual_de

¹³ SO Societat Orgànica. *Anàlisi ambiental dels aïllaments de llana d'ovella i de multifibres fabricats per RMT Recuperación de materiales textiles SA. Informe final*. Barcelona: SO Societat Orgànica, 2009 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en: <http://rmt-nita.es/downloads/analisi-ambiental-dels-aïllaments-de-llana-dovella-i-de-multifibres-fabricats-per-RMT-SA.pdf>

- **Ecobau Compuesto** son mantas de fibras de algodón recicladas e ignifugadas de 12 mm de espesor.
- **FR 4** son mantas de fibras de algodón virgen con EPDM ignifugado en espesores 10 y 20 mm.
- **Ecobau Triple** es un tricapa ignifugado de 22 mm de espesor y constituido por una lámina EPDM cubierta en ambas caras por una manta de algodón virgen. Se presentan en rollos de 5 m de largo y anchos de 60 y 100 cm.

En construcción este tipo de aislantes los tenemos en forma de mantos, placas y a granel.

Es un material que se mantiene fresco en verano y cálido en invierno, ya que cuando la temperatura exterior sube y las fibras se calientan, liberan humedad y se enfrían refrescándose el ambiente. Cuando la temperatura exterior baja las fibras se enfrían, absorbiendo humedad y calentándose, templando el ambiente.

3.2.3 Impacto medioambiental

Hoy en día el cultivo del algodón no es muy recomendable ya que exige grandes cantidades de agua y herbicidas para controlar las plagas y enfermedades que atacan a la planta. Esto no impide que sigan creciendo los cultivos de este arbusto pues existen grandes intereses económicos alrededor de la industria textil, sector en el que se encuentra más extendida su aplicación por las propiedades que le caracterizan: resistencia, facilidad en el trenzado, facilidad en el teñido, etc. La obtención de aislante a través del cultivo de la planta de algodón es altamente contaminante por la forma de cultivo que se emplea en la actualidad.

En los países asiáticos se ha extendido el monocultivo de algodón, de donde es original este material. Por lo que si en algún momento se fabrica, de forma sostenible y respetando el medio ambiente, lo más adecuado sería emplearlo en los lugares de procedencia de la materia prima para evitar las emisiones de CO₂ debidas al transporte.

Actualmente se está fomentando la producción y el comercio de algodón orgánico como una alternativa más viable y sostenible a la producción convencional. Sin embargo, los agricultores no adoptan generalmente estas técnicas a no ser que sean rentables; por lo que a pesar de la rápida expansión del algodón orgánico, gracias a que algunos consumidores están dispuestos a adquirir este tipo de productos, el algodón convencional sigue representando cerca del 99,9% del total de la producción mundial¹⁴.

En el caso del aislante hecho con algodón reciclado, al derivar la materia prima de la industria textil, los proveedores son las mismas industrias textiles de cada zona, de modo que

¹⁴ Dato obtenido de Guía del exportador de algodón [en línea] Ginebra: Centro de Comercio Internacional, 2015 [consulta: 3 mayo 2016] Disponible en: <http://www.guiadealgodon.org/>

cualquier posible fabricante de este tipo de aislante debería ponerse de acuerdo con alguna industria textil que pudiera facilitarle los restos de algodón. El coste del transporte desde el proveedor de la materia prima hasta la fábrica disminuye en función de la proximidad entre el proveedor y la fábrica.

Tendremos en cuenta tres aspectos:

- **Composición:** 75% de algodón y un 25% de otras fibras (fibra de relleno como el cáñamo y un aglutinante termoplástico como el poliéster o resinas fenólicas), con una variación de +/- 5%. En el proceso de fabricación se añade bórax o fosfatos como aditivos para proteger el material contra insectos, hongos y ante el fuego. Por lo que debemos tomar precauciones durante su colocación, usando mascarilla y gafas, ya que la exposición a pequeñas cantidades de este compuesto puede causar irritación de nariz, garganta y ojos.
- **Energía:** la fabricación es un proceso industrial muy sencillo, existiendo un importante ahorro de energía en su transformación. Debemos tener en cuenta los siguientes valores¹⁵:
 - En el defibrilado se puede considerar un consumo de energía eléctrica de 1,62 MJ/kg multifibra
 - Para el proceso de tratamiento se emplea 0,207 MJ/kg multifibra
- **CO₂:** debemos tener en cuenta el CO₂ emitido en los hornos durante su fabricación y en el transporte del aislante. Y si se trata de algodón natural, obtenerlo de procesos de cultivo respetuosos con el medio ambiente y usarlo en las zonas de procedencia para evitar emisiones elevadas de CO₂ a la atmósfera.

	COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES
	MJ/kg	CO2
		kgCO2/kg
ITeC	x	x
FIVE	40-50	x
RMT	≈7,46	0,46

Tabla 2 Coste energético de la fabricación del aislante de algodón

¹⁵ Datos aportados por la empresa RMT Recuperaciones de materiales textiles SA: FARRE, José, RMT. *Información sobre nuestros aislantes sostenibles RMT-NITA* [mensaje electrónico]. 31 marzo 2016.

3.2.4 Valorización

Con la fabricación de este tipo de aislantes, se lleva a cabo la valorización de un material que de otro modo sería desechado (restos textiles). Adicionalmente, el uso de aislantes de algodón reciclado consigue disminuir el consumo de un recurso natural como el algodón.

Las sustancias químicas incorporadas, como el aglutinante o los retardantes de llama representan uno de los principales impactos medioambientales una vez finalizada la vida útil del producto. Estas sustancias pueden tener efectos perjudiciales para la calidad del agua y para la salud humana. Las propiedades peligrosas de estas sustancias hacen que su eliminación deba realizarse en vertederos especiales, pudiendo, si es posible, reutilizar o reciclar para reducir su impacto medioambiental.

3.2.5 Propiedades

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12667	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitat
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,029- 0,040	x	x	0,040	0,029-0,032
Mantas	W/m.k	x	x	x	x	x
Rollos	W/m.k	0,037-0,040	x	x	x	x
Granel	W/m.k	0,037-0,042	x	x	x	x
Densidad	kg/m3	x	x	x	20-60	60
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	x	800	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1-2	x	x	1-2	x
Capacidad higroscópica	% en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	x	x
Precios	€/m2	10-11	<10	x	x	x

Tabla 3 Propiedades del algodón. Precios

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS		
		RMT	Geopanel	Logrotex
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,040	0,028-0,040	0,040
Mantas		0,036	x	x
Rollos		0,034	x	x
Granel		0,042-0,050	x	x
Densidad	kg/m3	x	x	x
Mantas		25-30	25-60	20-30
Rollos		30-60	50-70	x
Granel		20-30	x	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1-2	1-2	1-2
Capacidad higroscópica	% en peso	30%	x	30%
Reacción al fuego	Euroclases	F	D	x
Precios	€/m2	2-11	2-12	2-11

Tabla 4 Propiedades del algodón según fabricantes. Precios

3.2.6 Fabricantes

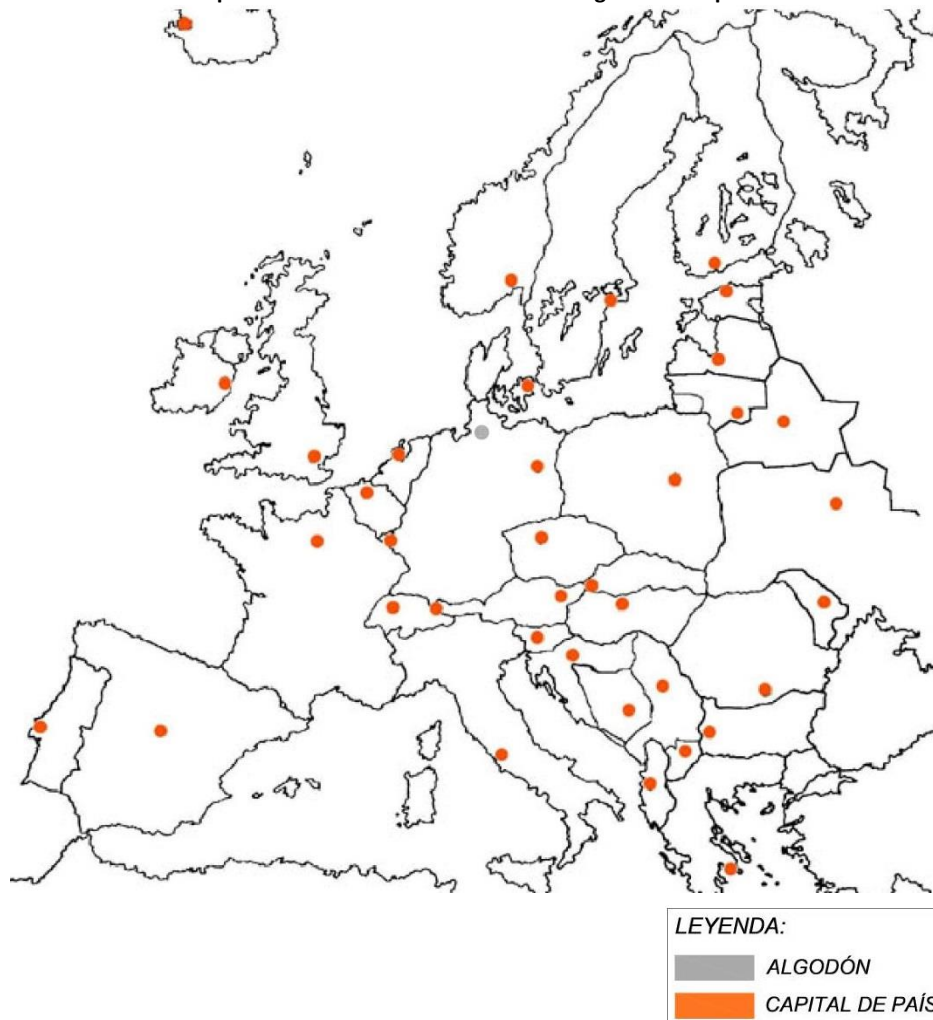
MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Algodón	RMT, Recuperación de Materiales	España	Barcelona	Pol. Ind. Can Magre - c/ Narcis Monturiol - Joan Güell 08187 Santa - Eulàlia de Ronçana Tel: +34 93 844 89 78 comercial@rmtsa.es
	Geopanel	España	Logroño	C/ Las Cañas 101 Pol. Industrial Cantabria II 26006 Tel.: +34 941 255 321 info@geopannel.com
	Logrotex	España	Logroño	C/ Alberite, 11-17, 26006 Tel.:+34 941 211 211 logrotex@logrotex.com
	SOEX Textil- Vermarktungsgesellschaft mbH	Alemania	Hamburgo	Ahrensburg

Tabla 5 Fabricantes de aislantes de algodón en España y Europa

Algodón



Mapa 1 Fabricantes de aislamientos de algodón en España



Mapa 2 Fabricantes de aislamientos de algodón en Europa

3.3. Cáñamo

3.3.1 Naturaleza y composición

La primera referencia documental del uso del cáñamo se encuentra en la farmacopea china, el Pen Ts'ao de Shen Nung, en el 3.727 a.C. Allí se hace referencia a su uso para aliviar los dolores del parto en las jóvenes parturientas y también para regular los dolores de la menstruación.

Se supone que para llegar hasta estas conclusiones el cáñamo fue usado profusamente, según datos pre-históricos desde la revolución del Neolítico, 8000 a.C. en Asia (China e India), en la confección de cestería por grupos recolectores. El uso médico también pasa a la India, donde su cultivo es milenario, con referencias en el Ayurveda y otras tradiciones.

En la Península Ibérica, se han estudiado los primitivos pueblos recolectores de Navarra, en el Neolítico Ibérico. La realización de cestos de cáñamo, dio lugar a la textura que se convirtió en tejido, y fue usado posteriormente para fabricar sacos, cuerdas, vestidos y calzados, fomentando las condiciones para formar los primeros asentamientos, que ponen fin a etapas de nomadismo.

Posteriormente las migraciones indo-europeas serían las responsables del viaje del cáñamo a las llanuras del norte del Cáucaso y de ahí hasta el centro de Europa. Los pueblos celtas aún lo llevaron hasta Bretaña. Más al sur, antes del 8.000 a.C. se cita el cannabis en la cultura caldea y los seguidores de Zoroastro lo adoptan para usos terapéuticos y religiosos.

El auge definitivo del cultivo del cáñamo lo marcará la expansión comercial de la marina. En efecto, gracias al cáñamo la navegación conoce un perfeccionamiento que permite la formación de grandes imperios como el romano o el cartaginés. Sus prespectivas marinas dependen de él para la fabricación de velas, cuerdas, cabos, jardias, redes y estopa; y se aseguraban el suministro constante de cáñamo. El punto culminante en su uso fue el siglo XVII, cuando para un solo barco de vela se necesitaron hasta 100 toneladas del resistente vegetal.

De ahí el auge de su cultivo en naciones que son grandes potencias marineras: Gran Bretaña, Holanda, Francia, Italia y España. Siendo en alguno de estos países, en ciertas épocas, el primer cultivo nacional por delante de los agro-alimenticios. Esta lógica impondrá a los primeros colonizadores en América de trasladar allí su cultivo para la fabricación de barcos.

Con el desarrollo e implantación de la industria petroquímica llegará el declive del cultivo de cáñamo en Europa y Norteamérica. La masiva utilización de derivados del petróleo en los motores de explosión decidió a la industria automovilística por la gasolina, en detrimento, y abandono de los combustibles derivados de las semillas oleaginosas. El segundo golpe incipiente industria química debido al encarecimiento de cáñamo respecto a otras fuentes vegetales de fibra.

El abandono definitivo lo supuso su prohibición, la *Tax Act Marihuana*, como fuente de materia prima para la fibra textil y el papel. La coincidencia, en 1937, con la patente del nylon, significó el golpe definitivo.

Fue clasificada por primera vez en 1735, por el botánico sueco Carlos Linnaeus, el naturalista se encontró con esta planta entonces silvestre en una expedición por el Himalaya.

La *Cannabis sativa* Linnaeus es una especie herbácea anual de la familia Cannabaceae cual curiosamente y dentro de su árbol genealógico pertenece previamente a las rosáceas y a posteriori va pasando por la estirpe familiar de las ortigas de la cual han heredado indudablemente los tricomas. Es una planta de tallo recto, erguido y hueco, corteza interna fibrosa, hojas opuestas y divididas en hojuelas lanceoladas y flores masculinas agrupadas en racimos y femeninas en inflorescencias (ilustración 7¹⁶). Es una planta dioica (una planta tiene flores masculinas y otra las femeninas), aunque pueden aparecer ejemplares monoicos o hermafroditas. Esta planta tarda entre 100 a 120 días en llegar a los 4 metros de altura.



Ilustración 7 Cannabis Sativa. Fuente: Wikipedia

Existen tres variedades que se distinguen por factores como la anatomía de la planta, hábito de crecimiento, variación de hojas y tipo de semilla:

- Cannabis Sativa Sativa: procedente de China. Se caracteriza por su gran altura, pudiendo llegar hasta los 7 metros, sus fibras son de muy buena calidad. Es la variedad más extendida a través del mundo.
- Cannabis Sativa Índica: procedente de la India, zonas montañosas de Hindu Kush y Tibet, donde era considerada como una de las plantas sagradas. Fue clasificada por el biólogo Jean Baptiste de Lamarck en el año 1785. Es más pequeña (1-1,5m) y leñosa con un periodo de floración más corto que la sativa. Su uso principal es la farmacología.
- Cannabis Sativa Ruderalis: originaria del sur de Siberia y norte de Kazajstán. Clasificada en 1924 por el botánico ruso Janischevsky. Es una planta pequeña (0,5-1m de altura) con un período de floración más corto que la sativa.

¹⁶ [Cannabis Sativa] En: Colaboradores de Wikipedia. *Wikipedia, La enciclopedia libre* [en línea]. Cannabis Sativa 2016, actualización 3 mayo de 2016. [Consulta: 26 marzo de 2016]. Disponible en: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f9/Cannabis_sativa_-_K%C3%B6hler%E2%80%93s_Medizinal-Pflanzen-026.jpg/250px-Cannabis_sativa_-_K%C3%B6hler%E2%80%93s_Medizinal-Pflanzen-026.jpg en https://es.wikipedia.org/wiki/Cannabis_sativa

Bajo el punto de vista de la psicoactividad, podemos distinguir dos clases diferentes de plantas del género Cannabis:

- Cáñamo, designa a cualquier planta de dicho género, buena para uso industrial (alto contenido en fibra) y mala para uso médico (bajo o nulo contenido de Cannabioles). Su concentración de THC (delta-9-tetrahidrocannabinol, agente psicoactivo) es inferior al 0,3%.
- Marihuana, variedad hembra que contiene una concentración superior al 0,3% de THC.

Se estima que el cáñamo produce casi 3 veces más fibra por hectárea que el algodón y 6 veces más que el lino. Al no requerir productos químicos obtenemos un material libre de sustancias tóxicas, que puedan dañar la salud. También posee cierto nivel de regulación de humedad, por ser altamente poroso. Como es una fibra, con bastante lignina y sin constitución proteica, los insectos y otros pequeños invertebrados no presentan una amenaza.

Francia era el país pionero en la jovencísima historia de la construcción actual con cáñamo, que se inició hace solo 20 años por casualidad, con los experimentos de un autoconstructor, llamado Charles Rasetti, en la rehabilitación de su casa “Maison de Turquie”. Buscó una alternativa más ligera y aislante a los materiales anteriores e hizo un relleno de mortero de cal con cáñamo entre la estructura antigua de entramado de madera. Idea que ha sido tomada poco a poco por diversas empresas y ha terminado en la comercialización de un granulado de cañamiza para morteros aislantes de cal y cáñamo o cal-arena-cáñamo. Hay que tener en cuenta que la mayor parte del tallo de cáñamo consiste de cañamiza, que a su vez es la parte más económica de la planta y que, antes de descubrir diversos usos, ha sido quemado en los campos. La construcción era una salida ideal para gran volumen de este material.

Existen unos 10.000 derivados de la planta: usos medicinales, industria del automóvil, de diseño industrial, de papel, de textil, de cosmética, de alimentación, sin olvidarnos de diversos materiales para la construcción.

3.3.2 Proceso de fabricación

El aislamiento térmico de cáñamo está producido a partir de las fibras largas que se extraen de la



Ilustración 8 Tallo de la planta del cáñamo.

Fuente: Hempbuilding

parte central de la planta de cáñamo textil. El primer paso es el desfilaje que consiste en separar las fibras de la planta del interior del tallo, destinadas a la confección de las mantas y paneles. El tallo de cáñamo (ilustración 8¹⁷) está libre de albumina por lo cual, los materiales fabricados de esta parte resisten a los parásitos. Estas fibras se mezclan con un ligante que es el poliéster.

del cáñamo:

Las mantas de cáñamo están compuestas por un 85% de fibras de cáñamo y un 15% de fibra termofusión o poliéster.

También existe el fieltro de cáñamo (ilustración 9¹⁸) que está producido con un 75% de fibras de cáñamo y 25% de yute reciclada. Cumple su función aislante debajo de soleras o soleras con calefacción radiante, en juntas de dilatación o bajo una tarima flotante. La dimensión de los rollos es de 1,00m x 25m y tiene un espesor de 5mm.



Ilustración 9 Fieltro de cáñamo.

Fuente: mimbrea



Ilustración 10 Panel rígido de cáñamo. Fuente: mimbrea

Siguiendo con los materiales derivados del cáñamo tenemos los paneles rígidos (ilustración 10¹⁹) que están compuestos de fibra de cáñamo y tierra, posibilitando distintas piezas como paneles de cerramiento, paneles con huecos para puertas y ventanas, dinteles, etc. Las piezas son resistentes a la intemperie por lo que pueden funcionar como muros de fachada.

¹⁷ [Tallo de la planta del cáñamo] En: hempbuilding [web] [s.l.]: Steve Allin, 2015 [consulta 26 marzo 2016] Disponible en: <http://hempbuilding.com/about.shtml>

¹⁸ [Fieltro de cáñamo] En: RODRÍGUEZ GÁLVEZ, Helena. Aislamientos Naturales!: productos industriales de cáñamo. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2014] [consulta: 26 marzo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/wp-content/uploads/2012/10/fieltro.jpg> en <http://www.mimbrea.com/aislanientos-naturales-i-productos-industriales-de-canamo/>

¹⁹ [Panel rígido de cáñamo] En: RODRÍGUEZ GÁLVEZ, Helena. Aislamientos Naturales!: productos industriales de cáñamo. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2014] [consulta: 26 marzo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/wp-content/uploads/2012/10/cannapanel.jpg> en <http://www.mimbrea.com/aislanientos-naturales-i-productos-industriales-de-canamo/>

Tenemos la lana de cáñamo, elaborada en su totalidad con fibras de cáñamo, empleada como relleno de juntas y huecos de ventana.

También existen los pellets aislantes y la cañamiza que es el tronco triturado, puede formar paneles flexibles formados, según el fabricante, de 85% de fibras de cáñamo y un 15% de fibra termofusión.

Y finalmente, tenemos los morteros aligerados o aislantes de cal y cáñamo.



Ilustración 11 Morteros aislantes de cáñamo. Fuente: mimbrea²⁰

3.3.3 Impacto medioambiental

Es un material 100% reciclable. Incluso tras la demolición de un edificio, puede molerse y ser reutilizado para la producción de bloques de fibra o morteros aislantes.

Durante su producción no necesita ser fumigada ni el uso de abonos químicos, ya que no contiene proteínas (por la ausencia de nutrientes en su tallo). Retiene CO₂ durante todo su ciclo de vida útil, con ello se consiguen edificios con valores de emisión de CO₂ neutros o bien negativos. Según Bernard Boyelix de la asociación Construir en cáñamo *“La más interesante de las virtudes del cáñamo, es la planta misma. Rústica, pide poco, incluso nada de insumos (pesticidas, abonos). Y no necesita tampoco irrigación”*

El beneficio para el medio ambiente es tal en su cultivo como en su empleo en la construcción; el cáñamo, al tener un período de crecimiento corto y una producción/hectárea 4 veces mayor que un bosque de madera, capta más dióxido de carbono y conduce a edificios neutros o bien negativos en cuanto a producción de CO₂, incluso teniendo en cuenta posibles transportes de material. Su cultivo es altamente beneficioso para la agricultura y el medio ambiente y no precisa pesticidas, ni herbicidas. El tallo está libre de proteínas, por ello, separado de las semillas no se necesitan aplicar sustancias protectores para su almacenamiento o su uso en la construcción.

²⁰ [Morteros aislantes de cáñamo] En: RODRÍGUEZ GÁLVEZ, Helena. Aislamientos Naturales!: productos industriales de cáñamo. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2014] [consulta: 26 marzo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/wp-content/uploads/2012/10/cannapanel.jpg> en <http://www.mimbrea.com/aislamientos-naturales-i-productos-industriales-de-canamo/>

La producción de celulosa es la misma en 0,40 ha de cáñamo que en 1,66 ha de bosque con árboles, por lo cual el cáñamo es un material altamente renovable que puede sustituir a la madera como aislante para la construcción. También es reciclable en cada momento de su ciclo de vida. Además, las propiedades aislantes del cáñamo en cuanto a la conductividad térmica son muy superiores a las de la madera. De esta forma pueden aplicarse unas 10-15 toneladas de cáñamo en una vivienda unifamiliar, evitando así la sobreexplotación de recursos naturales, sus consecuencias ambientales y elevados gastos energéticos empleados en su extracción²¹.

- **Composición:** según el fabricante y el producto final que se quiera emplear. La cañamiza, por ejemplo es 100% cáñamo. El panel flexible, las mantas o el fieltro de cáñamo contienen, además, poliéster.
- **Energía:** un dato interesante es que empleando materiales aislantes de cáñamo en nuestra vivienda estaremos reduciendo los consumos de calefacción hasta en un 40%.

	COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2
	MJ/kg	kgCO2/kg
ITeC	x	x
FIVE	1-40	x
RMT	x	x
Libro ²²	0,9072	x

Tabla 6 Valores de coste energético en la fabricación del aislamiento de cáñamo

3.3.4 Valorización

El excedente después de separar la fibra, la madera o cañamiza, puede dedicarse a mortero aligerado para hacer muros o ladrillos, podemos incorporarlo como abono, producir pelets para calefacción y obtener energía por el proceso pirolítico.

La pirolisis o combustión a baja temperatura en ausencia de oxígeno de la materia vegetal, genera biocarbón y almacena CO2. El biocarbón obtenido es buenísimo para el suelo. Por ello y para cerrar el ciclo del material de forma sostenible, debe ser invertida parte de esa energía en la recuperación ecológica, o lo que es lo mismo, en mejorar la capacidad productiva de los suelos y el ecosistema.

²¹ Datos obtenidos de la revista EcoHabitar

²² SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

De este modo las mismas casas de cáñamo y sus biomateriales, podrían ser transformadas por pirolisis de nuevo en energía, todo es reciclable y todo es energía en potencia, pero eso sí, manteniendo los niveles de limpieza de los procesos productivos y diversificando los usos del suelo con las rotaciones de cultivos.

3.3.5 Propiedades

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitar
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,035-0,045	x	x	0,041	0,039-0,045
Densidad	kg/m3	20-25	x	x	30	20-25
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	x	1500	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1-2	x	x	1-2	x
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	% en peso	x	x	x	15	7
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	x	B2
Precios	€/m2	<25	x	x	x	x

Tabla 7 Propiedades del cáñamo. Precios

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS			
		RMT	ThermoNatur	Biofib	Cannabric ²³
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	x	x	x	x
Mantos rígidos		x	x	0,040	x
Mantos flexibles		0,041	0,038-0,040	x	x
Grael		x	x	x	0,048-0,060
Densidad	kg/m3	x	x	x	x
Mantos rígidos		x	x	30-40	x
Mantos flexibles		30	20-46	x	x
Grael		x	x		110
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	x	x
Mantos rígidos		x	x	1800	x
Mantos flexibles		x	2300	x	x
Grael		x	x	x	2100
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	---	x	x	x	x
Mantos rígidos		x	x	1	x
Mantos flexibles		1	1-2	x	x
Grael		x	x	x	1-2
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	% en peso	12±5%	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	F	E	F	E
Precios	€/m2	6-13	4-30	x	x

Tabla 8 Propiedades del cáñamo según fabricantes. Precios

²³ A pesar de que Cannabric no es una empresa fabricante, se han incluido los datos que aporta acerca del cáñamo a granel puesto que no se han encontrado empresas que aportaran esta información

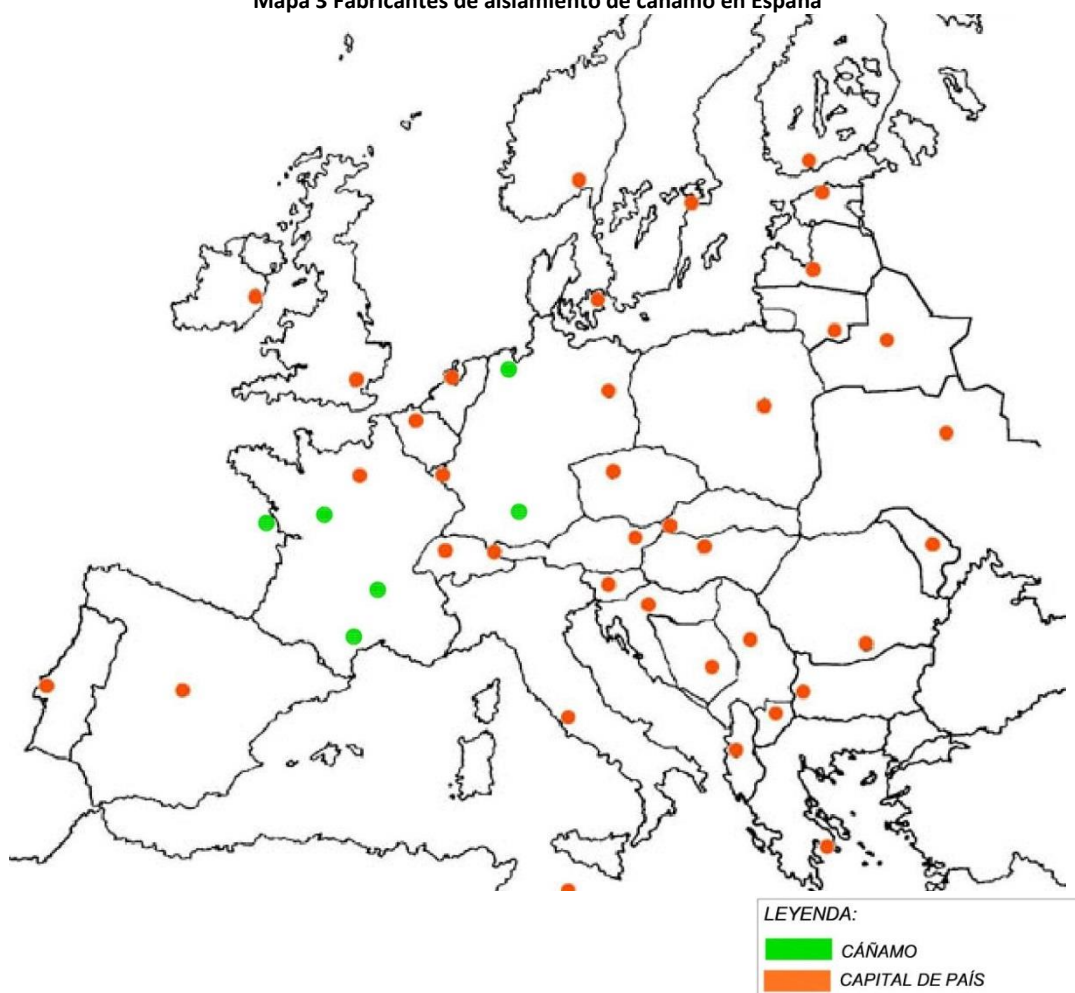
3.3.6 Fabricantes

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Cáñamo	RMT, Recuperación de Materiales	España	Barcelona	Pol. Ind. Can Magre - c/ Narcis Monturiol - Joan Güell 08187 Santa - Eulàlia de Ronçana Tel: +34 93 844 89 78 comercial@rmtsa.es
	ThermoNatur	Alemania	Nördlingen	Geschäftsführer: Kurt Hogh Industriestraße 2, D-86720 Tel.: +49(0)9081 / 80 500-0 http://www.thermo-natur.de/
	HempFlax Deutschland GmbH	Alemania	Oldenburg	http://hempflax.com/
	Eco-logis	Francia	Aiguefonde	10 Avenue de Caucalières, 81200, Tel.: +33 5 63 50 24 81
	Isonat by Buitex	Francia	Cours la Ville	Zona industrial Le Moulin II-BP 23 69470 Tel.: +33 (0)4 74 89 95 96 contact@isonal.com
	Biofib`Isolation	Francia	Sainte Gemme la Plaine	Le Fief Chapitre-85400 Tel.: 02 51 30 98 38
	Poitou-chanvre	Francia	Melle	La Vergne 79500 – Tel.: 05 49 07 70 03
	Fibratur (Sotextho)	Francia	Saint Amans Valtoret	Avenue du Moulin, 81240

Tabla 9 Fabricantes de aislamiento de cáñamo en España y Europa



Mapa 3 Fabricantes de aislamiento de cáñamo en España



Mapa 4 Fabricantes de aislamientos de cáñamo en Europa

3.4. Celulosa

3.4.1 Naturaleza y composición

La celulosa, hidrato de carbono isómero del almidón, es el componente fundamental del esqueleto de los vegetales. La borra del algodón, por ejemplo, contiene un 99% de celulosa, y la madera entre un 40 y un 50 %.

Consta de fibras compuestas por fibrillas elementales, formadas a su vez por un gran número de moléculas lineales, cada una de las cuales tiene de 2000 a 3000 moléculas de glucosa anhídrida. La celulosa pura es blanca y de gran resistencia mecánica; llega a soportar tensiones de hasta 80 kg/mm².

La importancia principal de la celulosa reside en su calidad de materia prima para la fabricación de papel, explosivos, materias plásticas y tejidos sintéticos. En construcción se emplea el aislante de celulosa, el cual es un aglomerado compuesto de un 90% de copos de papel de periódico reciclado, procedente de los excesos de producción y el 10% de ácido bórico, a veces incluso puede llevar fosfato de amonio, los cuales le confiere a la mezcla capacidad retardante para el fuego y propiedades funguicidas, control ante insectos, moho y degeneración del material orgánico y putrefacción.

3.4.2 Proceso de fabricación

La celulosa se obtiene a partir de paja o madera. Para separar la celulosa de las fibras leñosas se desintegran los troncos y los fragmentos se cuecen en una caldera con bisulfito cálcico. La masa resultante se lava y se hace pasar a unas pilas desfibradoras, donde se separan los componentes. Diluida la masa con agua, se hace pasar por un desmutador y un desarenador. Posteriormente, se tamiza, se espesa y se seca, con lo que adquiere la forma de un cartón. Es insoluble en la mayoría de los disolventes ordinarios.

El proceso de fabricación del aislante de celulosa parte con la recolección de la materia prima como papel de prensa, de oficina o cartones. Se recogen en contenedores que son llevados a las plantas de procesado.

Una vez en la fábrica, el material pasa por una unidad mezcladora primaria que separa los lotes y lo prepara para el corte en tiras. Un potente imán recoge las grapas y restos metálicos. La cortadora hace una primera transformación del material, cortándolo en tiras de unos 5cm. A continuación, se realiza el primer mezclado con sales de boro o fosfato de amonio (según fabricante) para aportarle propiedades retardantes de fuego y control de agentes biológicos. Las sales de boro cuando entran en contacto con una fuente de calor, éstas desprenden moléculas de agua.

Después una máquina desfibriladora vuelve a cortar el papel en trozos de 4mm. Al finalizar ese proceso, se vuelve a mezclar la fibra con sales de boro o fosfato de amonio para potenciar las propiedades antes descritas. La proporción total de agentes químicos está alrededor del 8%²⁴ en todo el proceso, aunque dependiendo de los fabricantes obtendremos distintos valores de la composición de la celulosa²⁵. El material es llevado a la unidad de reducción última de polvillo de celulosa, donde las fibras de celulosa y el aire con polvillo residual se terminan por separar antes del empaquetado.

Finalmente las fibras terminadas, ya mezcladas con el retardante y limpias de polvo van a la estación de empaquetado de donde sale el producto para comercializar.

En construcción, la celulosa para aislamiento térmico, la tenemos en forma de paneles flexibles, rollos, como material suelto (aplicación en obra por vertido o inyección) o en morteros, según el tipo de aplicación. También existe un producto que todavía está en investigación, los bloques con agregados de celulosa.

3.4.3 Impacto medioambiental

El ácido bórico en realidad estaba registrado en la ECHA (con un número de referencia CE 233-139-2). Esto no quiere decir que el ácido bórico no se permite tampoco. Sin embargo, está sujeto a algunas restricciones: El aislamiento de celulosa en la sal que contiene boro más de 5,5% deberán llevar una etiqueta que indique el riesgo potencial de toxicidad. Por debajo de esta tasa, no se menciona es obligatorio.

En lo que respecta al proceso industrial de fabricación hay algunos aspectos que debemos tener en cuenta:

- **Composición:** este aislante está compuesto de un 90 al 92% de celulosa y un 8% de componentes químicos, sales de bórax o fosfato de amonio. Las sales de bórax como sustancia con restricciones está registrada en la ECHA, Reglamento sobre Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas; (con un número de referencia CE 233-139-2). Está sujeto a algunas restricciones: aislamiento de celulosa que contiene boro más de 5,5% deberá llevar una etiqueta que indique el riesgo potencial de toxicidad. Por debajo de esta tasa, no se menciona que sea obligatorio. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la concentración en la guata de celulosa es inferior a este umbral²⁶.

²⁴ Dato aportado por:

PASTOR JUAN, Alfonso. *Dossier: Aislantes térmicos en la edificación. Materiales. Exigencias normativas. Directorios*. Alicante: Stampa Edición Digital, S.L. 2012, 72p. ISBN 978-84-938147-2-4

²⁵ Detail: *Aislamientos ecológicos*. Revista EcoHabitar. Teruel, nº30, verano 2011

²⁶ Ouate de cellulose: faut-il avoir peur du sel de bore? En: *consoGlobe, consommer mieux-vivre mieux* [web] [s.l.]: [s.n.], 2012 [Consulta: 15 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.consoglobe.com/ouate-de-cellulose-faut-il-avoir-peur-du-sel-de-bore-cg>

- Energía: la fabricación es un proceso industrial muy sencillo, existiendo un importante ahorro de energía en su transformación.
- CO₂: debemos tener en cuenta la energía empleada en la fabricación de este material. En el caso de celulosa suelta 292 wh/kg y de inyectada con manguera 173wh/kg²⁷.

	COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2
	MJ/kg	kgCO2/kg
ITeC	x	x
FIVE	1-25	x
Libro ²⁸ (suelta)	1,0512	x
(inyectada)	0,6228	x

Tabla 10 Coste energético de la fabricación de la celulosa

3.4.4 Valorización

Al estar basado en una materia prima vegetal es biodegradable, compostable e inocuo. Debemos tener en cuenta que se está llevando a cabo la valorización de un residuo/subproducto (papel de periódico). Adicionalmente, con ello se consigue disminuir el consumo de madera natural para la obtención de celulosa.

Bajo consumo energético en su producción. Sin embargo, es importante conocer los efectos de las sales de bórax o del fosfato de amonio para su posterior valorización. Con respecto al último, las plantas de tratamiento de aguas residuales son posibles fuentes puntuales de fósforo para su reutilización²⁹. Pero no hay fuentes que expliquen el aprovechamiento de estos componentes de la celulosa y el daño o no que puedan causar en el medio ambiente al destinar la celulosa al compost, por ejemplo, y para la salud de las personas.

²⁷ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. Living spacesustainable building and desing. Ediciones Könemann, 1999. ISBN: 3-89508-925-7

²⁸ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

²⁹ Recuperación y reciclaje de fosfatos. En: *Datos de fosfato* [web], Atlanta (Georgia): Foro de Fosfato de las Américas [Consulta: 15 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.datosdefosfatos.org/resource.asp>

3.4.5 Propiedades

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitat
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,034-0,069	x	x	0,039	0,035
Manta		x	x	x	x	x
guata de celulosa		x	x	x	x	0,037-0,040
Densidad	kg/m3	45-50	x	20-60	x	60
Manta		x	x	x	28-40	x
guata de celulosa		x	x	x	38-65	x
Peso	kg m2	x	x	x	2,25	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1600	2100	2100
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1-2	x	2	1-2	1-2
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	8-18	10
Reacción al fuego	Euroclases	E	x	x	B a E	B a E
Precios	€/m2	10-22	x	x	x	x

Tabla 11 Propiedades de la celulosa. Precios

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS				
		Homatherm	BioklimaNature	Climacel	Isofloc	Thermofloc
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	x	x	x	x	x
Manta		0,039	x	x	x	x
guata de celulosa		0,040	0,038	0,038	0,036-0,043	0,039
Densidad	kg/m3	30-65	x	x	x	x
Manta		70-90	x	x	x	x
guata de celulosa		25-65	26-65	30-65	25-65	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	1980	x	x	x
Manta		2000	x	x	x	x
guata de celulosa		1980	x	2544	2150	1900
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	x	x	x	x	x
Manta		2-3	x	x	x	x
guata de celulosa		1-2	3,5	1-2	1-2	1
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	15	x	x	8-10	x
Reacción al fuego	Euroclases	E	E	B	E-B	B
Precios	€/m2	3-50	5-8 ³⁰	5-45	10-45	5-10 ³⁰

Tabla 12 Propiedades de la celulosa según fabricantes. Precios

Este material no se puede comprimir. Por ello no se utiliza para aislar losas de hormigón contra ruidos de impacto, aunque sí para aislar muros y falsos techos contra ruido aéreo.

³⁰ Producto a base de ouata de celulosa (a granel).

3.4.6 Fabricantes

PRODUCTO	EMPRESA	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
CELULOSA	BioKlima Nature (AislaNat)	España	Navarra	Pol. Ezkabarte, c/U, n/7. 31194 Oricain; Tel.: 948 330 015 info@aislantesaislanat.es
	Isofloc	España	Madrid	Coral Silva Burgos, c/ Colmenas 14, 28270 Colmenarejo, Te.:+34 918423555
		Alemania	Lohfelden	Isofloc Wärmedämmtechnik GmbH, Am Fieseler Werk 3, 34253
		Portugal	Lisboa	Aísla y Ahorra, S.L. Diogo Paiva Av. Estados Unidos da América, nº 97, 12º, 1700 - 167 Tel.: +351 96 664 0259
		Francia		Soorpark 9606 Bütschwil Suisse - Tel.: +41 (0)71 313 91 00
		Italia		LA CASA DI TERRA Snc Via Ponte Romano n°228 11027 Saint Vincent (AO) Tel.: +39 0166 510137
		Polonia		Derowork F.H.U. Zbigniew Białas 90-447 Łódźul. Piotrkowska 183/187/22 - Tel.: +48 603 910 589
		Irlanda		Ecological Building Systems Main Street – Athboy, Co. Meath – Ireland - Tel.: +353 46-9432104
		Luxemburgo		Müllers dämmtechnik 6, rue Jean Engling L-1466 Tel.: +35 2 264 825 66
		Noruega		Michael Hohenstein S-52495 Ljung Tel.: + 46 (0) 31 7999 399
	Climacel	Alemania	Angelbachtal	Etwiesenstrasse 1, 74981 Tel.:+49 7265 9131 0, e-mail: info@climacell.de
		Italia		Referencia: Solios de Christine Schneider, Tel.:+39 348 4030717; e-mail: info@climacell.it
	Ecoalpen	Italia		Via Milano 10/b-38017 Mezzolombardo
	Homatherm	Alemania	Berga	Ahornweg 1, 06536 Te.: +49 34651 4160
	Thermofloc	Alemania	Ludwigsburg	Mitländerstraße 17, D-71642 Tel.: +49 180 1000 7501 www.thermofloc.es Tiene distribuidores en todos los países de Europa.
	Peter Seppele	Austria	Villach	Reitschulgasse 12, 9500

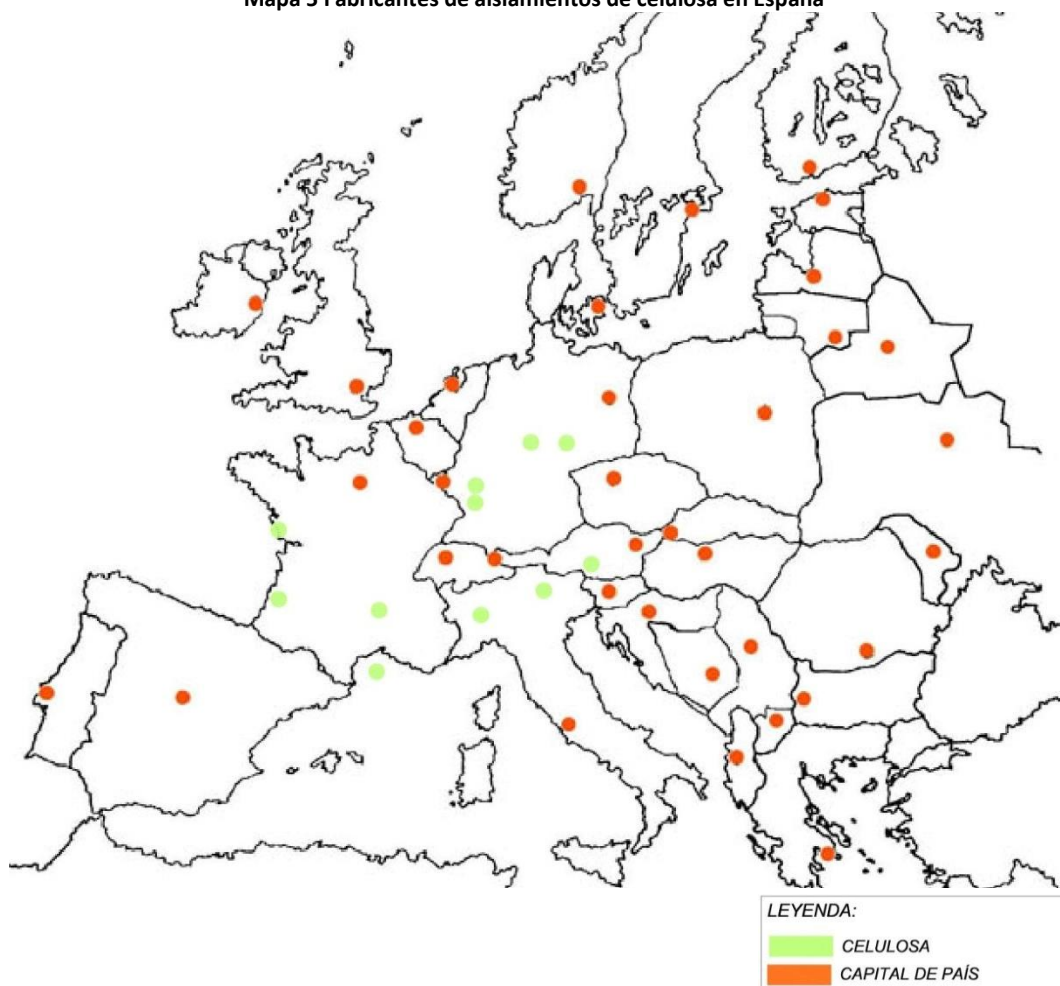
Celulosa

	Ouateco	Francia	Saint Geours de Maremne	Rue du Pays d'Orthe - Zone Atlantisud - 40230 Tel.: +33(0)5 58 57 05 15
	Isonat by Buitex	Francia	Cours la Ville	Zona industrial Le Moulin II-BP 23 69470 Tel.: +33 (0)4 74 89 95 96 contact@isonal.com
	Biofib`Isolation	Francia	Sainte Gemme la Plaine	Le Fief Chapitre-85400 Tel.: 02 51 30 98 38

Tabla 13 Fabricantes de aislamiento de celulosa en España y Europa



Mapa 5 Fabricantes de aislamientos de celulosa en España



Mapa 6 Fabricantes de aislamientos de celulosa en Europa

3.5. Coco

3.5.1 Naturaleza y composición

El cocotero (*Cocos nucifera*), es una especie de palmeras de la familia Arecaceae. Es monotípica, siendo su única especie *Cocos nucifera*. Es originario de regiones tropicales, actualmente se cultiva tanto en el continente asiático (India, Ceilán, Indonesia) como en América Central y Meridional y en África (Mozambique, Tanzania y Ghana). Es alto y erecto de 20 a 30m de altura, tronco delgado a menudo inclinado y ensanchado en la base, corteza parda o gris ligeramente rajada. El extremo superior presenta un grupo de hojas que protegen el punto de crecimiento que posee el árbol. La hoja de la palma de coco es de tipo pinnada, su largo puede alcanzar los 6 metros. La copa presenta de 25 a 30 hojas. El fruto es una drupa, compuesta por una epidermis, un pericarpio o mesocarpio (conocidos como estopa de coco) que abarca 35% del fruto, un endocarpio (concha) forma el 12% del coco, el endospermo o copra

(carne) que conforma un 28% del fruto y el agua de coco en un 25% como se puede ver en la imagen (ilustración 12³¹). El color, la forma y el grosor cambian cuando el fruto está maduro, puede ser amarillo verde o castaño de forma redonda ovoide-globoso u ovoide triangular, con un diámetro de 10 a 40 cm y el peso del fruto se encuentra entre

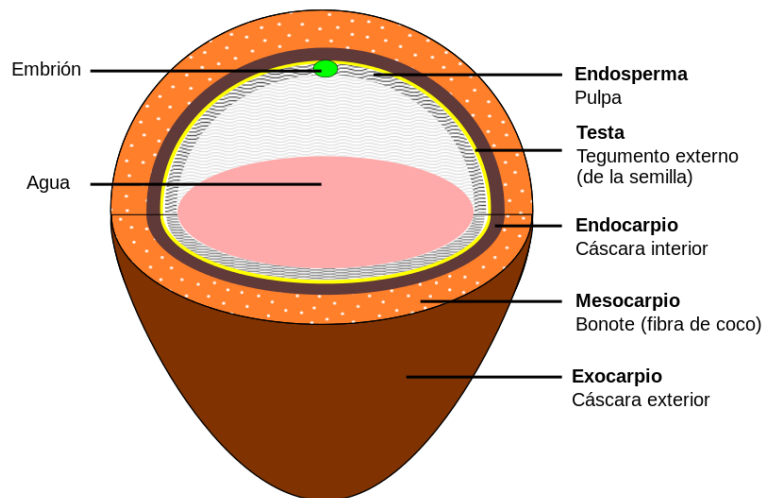


Ilustración 12 Partes del coco. Fuente: wikipedia

0,50 a 1,50 kg. La estopa de coco: es

una fibra multicelular cuyos componentes principales son la celulosa y el leño, los cuáles otorgan grandes propiedades de rigidez y dureza, baja conductividad al calor, alta resistencia al impacto, a bacterias y al agua, inoloro, imputrescible, antifúngico y además no es atacable por roedores o termitas. La composición química de la estopa de coco es:

- Lignina 42,5%
- Celulosa 32,2%
- Pentanosa 14,7%

³¹ [Partes del coco] En: Colaboradores de Wikipedia. *Wikipedia, La enciclopedia libre* [en línea]. Sección de un coco maduro. 2016, actualización 16 junio de 2016. [Consulta: 18 junio de 2016]. Disponible en: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cd/Coconut_layers_es.svg/300px-Coconut_layers_es.svg.png en <https://es.wikipedia.org/wiki/Coco>

- Grasas saponificables 5,1%
- Grasas insaponificables 0,7%
- Cenizas 3,5%
- Proteínas 1,2%

3.5.2 Proceso de fabricación

Después de la extracción del coco, la capa vegetal que lo envuelve sufre un proceso de secado permitiendo la separación de las fibras que la constituyen. Éstas son sometidas durante un periodo aproximado de 6 meses a un proceso de curtido mediante agua salobre. Finalmente, son expuestas al aire para su secado y posteriormente batidas para limpiar las fibras de restos no vegetales.

Después de la recepción de los fardos, la fibra de coco pasa por la cardadora, donde se inicia el cardado y tejido de la fibra. El producto resultante es un manto uniforme de fibra de coco trenzada. A continuación se tratan con sal de boro como tratamiento insecticida y anti-fuego.

Posteriormente, en el caso de las placas de fibra de coco, este manto sufre un proceso de prensado, que le confiere la rigidez necesaria para esta aplicación.

Concluida esta fase, se procede al corte del manto en diferentes medidas para la obtención de rollos, placas o tiras. El desperdicio resultante es reaprovechado, siendo nuevamente utilizado en el inicio de todo el proceso de producción³².

Es un material con buenas prestaciones para el aislamiento térmico y acústico; siendo en este último donde presenta mayor eficiencia. Es utilizado en el aislamiento de suelos ya que tiene excelentes propiedades de aislamiento acústico y propiedades como aislamiento contra el impacto, a la vez que es resistente a la compresión.

Hemos visto en algunas empresas el empleo de colas acrílicas biodegradables como aditivo en las placas aislantes.

En el mercado encontramos aislante de coco en manta, placas, rollos o a granel. También se puede encontrar en paneles aislantes de coco y núcleo de corcho, llamados *corkoco*.

3.5.3 Impacto medioambiental

A pesar de que proviene de un árbol y le da uso a un residuo de su fruto, dependiendo de donde esté ubicado el proyecto de construcción puede tener gran impacto ecológico, ya que esta fruta proviene

³² BCK Barnacork. *Catálogo aislamientos 2012, soluciones naturales para aislamientos térmicos, acústicos y antivibratorios* [en línea] Barcelona: Barnacork, S.L., 2012[consulta: 05 mayo 2016] Disponible en: <http://www.barnacork.com/11Boris/fileWeb/catalogo-aislamientos-2012.pdf>

de climas tropicales y esto puede ser un impacto para el transporte de la materia prima a la planta de producción del material y luego al lugar de construcción.

	COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2
	MJ/kg	kgCO2/kg
ITeC	x	x
FIVE	1-10	x
AMORIM	1-10	x

Tabla 14 Coste energético de la fabricación del coco

3.5.4 Valorización

Es un material que, una vez finalizada su vida útil como aislamiento es compostable. Aunque se debe tener en cuenta los productos que llevan como bórax y colas acrílicas biodegradables. Como es difícil separar estos componentes de las fibras de coco; estos productos deberían destinarse, en primer lugar a reciclaje o, en último caso, a un vertedero controlado.

3.5.5 Propiedades

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitat
Coefficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,043-0,047	x	x	0,045-0,050	0,045
Densidad	kg/m3	x	x	x	70a100	124
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	x	1500	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1-2	x	x	1-2	1
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	x	x
Precios	€/m2	<40	x	x	x	x

Tabla 15 Propiedades del aislamiento de coco. Precios

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS
		AMORIM
Coefficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,043-0,045
Resistencia térmica	m2.k/W	x
Densidad	kg/m3	100-140
Calor específico (Cp)	J/kg.k	1500
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1-2
Dilatación térmica	m3	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x
Reacción al fuego	Euroclases	B2-F
Precio	€/m2	12-15

Tabla 16 Propiedades del aislamiento de coco según Amorim. Precios

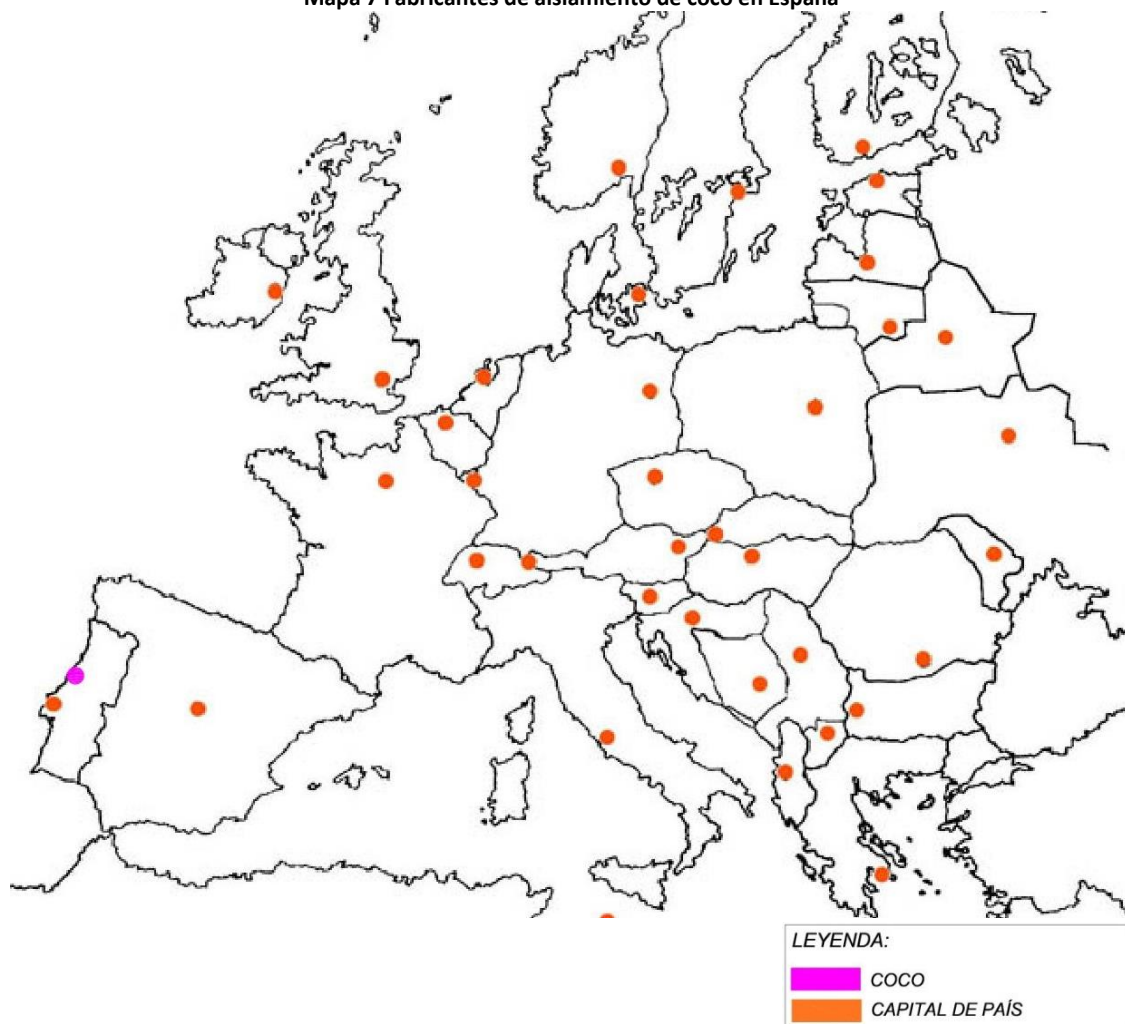
3.5.6 Fabricantes

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Coco	Amorim	Portugal	Mozelos	Rua de Meladas, 105 – 4535-186 www.amorimcork.com amorim@amorim.com
	Banacork, S.L.	España	Barcelona	C/ Santiago Rosiñol, 14 Nave D2 , Pol. Ind. Can Humet de Dalt 08213 Polinya

Tabla 17 Fabricantes de aislamiento de coco



Mapa 7 Fabricantes de aislamiento de coco en España



Mapa 8 Fabricantes de aislamientos de coco en Europa

3.6. Corcho

3.6.1 Naturaleza y composición

El corcho se obtiene de la corteza de los alcornoques (*Quercus suber*), está constituido por células muertas y aire. Éste constituye casi el 90% del corcho, de ahí su levísimo peso y su compresibilidad. Las paredes de esas células, que son como minúsculos compartimentos estancos, están constituidas fundamentalmente por suberina y cerina, sustancias que lo hacen bastante ignífugo, muy flexible y prácticamente imputrescible.

El corcho es un tejido vegetal con una función eminentemente protectora contra los agentes externos, que de otra forma no permitirían al crecimiento del árbol.; es decir, se comporta como una coraza que protege. Pero además de aislar, permite al árbol respirar a través de diminutos poros. La naturaleza es sabia y de ella tomamos ejemplo.

Su composición es la siguiente:

- **Suberina (45%):** Sus principales componentes son los ácidos grasos (ácido felúrico, esteárico y felónico), alcoholes y oxiácidos. La suberina le confiere el carácter hidrófobo a la célula del corcho, además de protegerla de patógenos externos, evitar la evaporación de agua, e intervenir en la cicatrización de heridas.
- **Lignina (27%):** Es un polímero compuesto por alcoholes aromáticos, sobre todo el alcohol coniferílico, alcohol sinapílico y alcohol p-hidroxicinámico, cuya misión es dar rigidez e impermeabilidad a la membrana celular.
- **Celulosa y polisacáridos (12%):** La celulosa forma microfibrillas rígidas que permiten al corcho obtener resistencia frente al estiramiento.
- **Taninos (6%):** Son sustancias polifenólicas, formadas por el catecol, orcinol y ácido gálico, se unen a las proteínas volviéndolas insolubles e imputrescibles, por ello el corcho no se corrompe y es imputrescible.
- **Ceroides (5%):** Son ácidos grasos, sobre todo la cerina, ácido betúlico y betulina, y suya es la responsabilidad de que el corcho sea impermeable.
- **Otros constituyentes (6%):**
 - **Materias minerales:** Están representados por sodio, potasio, magnesio, aluminio, hierro, manganeso, silicio, fósforo, bario, estroncio y trazas de litio, cobre, cromo y titanio.
 - **Agua:** Representa entre el 3 y el 10 %, dependiendo de las condiciones de almacenamiento.
 - **Glicerina:** Forma parte de la suberina y su porcentaje varía de acuerdo a la edad del árbol.

3.6.2 Proceso de fabricación

La extracción del corcho es un proceso muy respetuoso con el entorno, de muy bajo impacto y obtenido de recursos renovables ya que ni siquiera requiere la tala de árboles.

La extracción del corcho del alcornoque es lo que se denomina «saca del corcho» (ilustración 13³³). Esta saca se hace sobre todo durante el mes de julio, que es el mes en el que el corcho puede ser separado del árbol sin dañarlo. En esta época los trabajadores denominados «corcheros» o «peladores» extraen la corteza del alcornoque cortando con un hacha y uniendo las grietas verticales del corcho, así retiran lo que se denomina «la pela del alcornoque». En cada descorchado pueden extraerse de 8 a 10kg por árbol. Las siguientes “sacas” o extracciones se llevan a cabo, siempre en verano, cada 8-9 años hasta que el árbol tenga unos 150 años.



Ilustración 13 La saca del corcho en el alcornoque. Fuente: blog de geografía

El corcho se puede extraer por primera vez cuando el árbol tiene aproximadamente 25 años, pero este dato depende mucho de las condiciones climáticas durante su etapa de crecimiento, ya que el parámetro a medir es cuando el árbol tenga una «circunferencia altura de pecho» (CAP) de 70 cm. a una altura de 1,30 m. Este primer corcho se denomina bornizo, sólo válido para la elaboración de elementos decorativos y aislantes. El alcornoque renueva su corteza cada 9-12 años, y esto hace posible obtener corcho sin que se perjudique al árbol.

Los alcornoques son una especie que favorece el lugar donde se sitúa, además de producir oxígeno a través de la fotosíntesis, la estructura celular del alcornoque fija el CO₂. Un dato interesante es que el “Montado” (designación de la foresta de alcornoques) es responsable de la fijación de 4,8 millones de toneladas de CO₂ al año en Portugal, el 5% del total de emisiones. Su parte superior crea un microclima que es menos excesivo en invierno y en verano, lo que permite ampliar la temporada de crecimiento de la vegetación herbácea³⁴.

En el momento de adquirir corcho, en este caso como material aislante, es importante tener en cuenta la Certificación Forestal PEFC en España y, otra de gran calado a nivel mundial, la del Consejo de Administración Forestal (FSC) de Alemania, que es una garantía de que la materia prima

³³ La saca del corcho en el alcornoque. En: elblogdegeografiadejuan [web] España: Juan Martín Martín [Consulta 6 marzo del 2016] Disponible en: http://2.bp.blogspot.com/-b7RT6MgCp2c/UhpOHI2S8zI/AAAAAAAAIZY/NBun_Xe0gnM/s320/corcho.jpg en <http://blogdegeografiadejuan.blogspot.com.es/2013/09/de-donde-se-saca-el-corcho-como-se.html>

³⁴ NADAIS, Edgar. Isolamentos térmicos, Amorim [mensaje electrónico]. 21 marzo 2016

de los productos de corcho proviene de un alcornocal gestionado de manera sostenible, controlando todos los procesos intermedios de producción, a través de la cadena de custodia.

Una vez obtenida la materia prima, se transportan a su destino, donde durante al menos seis meses se estabilizará para tener un contenido de humedad uniforme (ilustración 14³⁵). En función de la calidad del corcho extraído, se separan las planchas de acuerdo con el fin al que serán dedicadas: tapones de corcho, discos o aglomerados. Las planchas seleccionadas son amontonadas, de forma que permanecen al sol, viento y a la lluvia durante seis meses o más. Durante este período, los factores atmosféricos eliminan la mayor parte de la savia del



Ilustración 14 Corcho en reposo antes.
Fuente: Amorim

corcho, las sustancias polifenólicas se oxidan y la textura del corcho se estabiliza. Transcurrido este tiempo, el corcho se transporta a la fábrica, donde podremos obtener tres tipos de materiales:

- El Corcho Aglomerado Negro. Se fabrica con granulado de corcho natural, triturado obteniendo los gránulos de 4 a 14mm. A continuación se realiza el secado con secadoras industriales. Una vez tenemos el corcho seco, es aglomerado en autoclave a alta presión y alta temperatura, aproximadamente 550°C³⁶, con vapor de agua recalentado, sin adición de aglutinantes sobre veinte minutos; así se eliminarán las resinas volátiles y se destilarán las resinas del corcho, que en este caso serán el ligante, que es la suberina. Una vez se retiran los bloques, serán enfriados inyectando agua en su interior, por medio de unas agujas de forma controlada para pasar a la siguiente fase. Posteriormente se apilan para que pasen un periodo de estabilización de unos 30 días. Y finalmente, se escuadran y laminan al grosor necesario para su embalaje y distribución.

Este sistema de fabricación provoca que el producto final sea de color negro y conserve por mucho tiempo un olor de tostado muy peculiar. Resultando un aglomerado de materias primas naturales y renovables sin adicción de químicos, con muy baja densidad, que le confiere buenas propiedades aislantes.

³⁵ Corcho en reposo. En: Amorin [web] Portugal: Amorim [Consulta 6 marzo del 2016] Disponible en: http://www.amorimcork.com/media/filer_public_thumbnails/filer_public/2012/11/05/cortica-armazenada.png_327x330_q95_crop_upscale.jpg en <http://www.amorimcork.com/pt/natural-cork/raw-material-and-production-process/>

³⁶ El corcho se expone a vapor a una temperatura de 360°C. Producción corcho expandido Aglocork Térmico [vídeo en línea]. Banacork, 2012 [consulta: 7 marzo 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=dUpq2olxubg>

El corcho se expone a vapor a una temperatura de 350 - 380°C.

NADAIS, Edgar. Isolamentos térmicos, Amorim [mensaje electrónico]. 21 marzo 2016

Internacionalmente y en documentación técnica actual el aglomerado de corcho expandido es con frecuencia referenciado por las siglas ICB, de la denominación inglesa Insulation Cork Board.

- El Corcho Aglomerado Crudo-BL. Está fabricado a partir de la misma materia prima, pero sin el proceso de destilado de resinas. Partiendo del secado de los gránulos, igual que en el proceso anterior, procedemos al encolado. En esta fase se pulveriza el granulado con cola (de resina de poliuretano en 4% en peso a 80°C, en proceso semicontinuo³⁷) de forma automatizada para, posteriormente, aglutinarlo en una prensa hidráulica continua y por el efecto de la presión y la temperatura (aproximadamente 175°C) se le da al granulado la configuración física requerida mediante moldeado por extrusión para obtener bloques; o por inyección para la obtención de planchas³⁸. El producto final es de color marrón claro y sin apenas olor.
- Corcho granulado procedente casi siempre de restos de la industria de los tapones, también es obtenido durante la producción de placas de aglomerado de corcho expandido, corcho refugo procedente de la saca de corcho en campo, siendo el refugo el corcho inservible para la fabricación de tapones de corcho natural, aparas correspondientes a los recortes producidos en la industria de la preparación del corcho en plancha; brocas procedentes de la perforación de corcho en plancha para la fabricación de tapones, pedazos de corcho natural procedentes de la saca de corcho de tamaño menor de 400 cm², corcho bornizo y segundero procedente de la saca de corcho en campo. Es apto para realizar morteros.

Como material para la construcción existe en forma de:

1. **Planchas aglomeradas:** corcho aglomerado con tratamiento de presión y calor.
2. **Granulado o triturado de corcho** para ser utilizado como relleno de cámaras o para realizar mezclas húmedas (morteros).

3.6.3 Impacto medioambiental

En nuestro país el corcho es un material local que se produce cerca de los lugares donde se utiliza, por lo que habría un importante ahorro de energía en el transporte. También proviene de Portugal, Argelia, Túnez, Marruecos y Cerdeña; con lo que debemos tener muy en cuenta el origen de los materiales a la hora de su adquisición. En lo que respecta al proceso industrial de fabricación hay algunos aspectos que debemos tener en cuenta:

³⁷ NADAIS, Edgar. Aislamientos térmicos, espadanacork [mensaje electrónico]. 4 abril 2016

³⁸ MONTES FERNÁNDEZ, M^a Arantzazu. *El corcho como material de construcción* [trabajo fin de carrera] Ramón VÁZQUEZ VÁZQUEZ, director. Universidade da Coruña, Escola Universitaria de Arquitectura Técnica, 2014.

Corcho

- Composición: el corcho natural tiene el inconveniente de que se emplean colas de poliuretano y de urea formaldehído para su compactación. Por lo que no sería un material totalmente biodegradable y afecta a su reacción al fuego (emite gases tóxicos), comportamiento al agua y conductividad.
- Energía: el corcho triturado es un proceso industrial muy sencillo (trituración y cribado) hay un importante ahorro de energía en su transformación.
- CO₂: en la fabricación del corcho negro se alcanzan temperaturas de hasta 550°C³⁶ y sus consiguientes emisiones de CO₂ a la atmósfera.

La huella de carbono del panel de corcho expandido es de -596,5 Kg CO₂ / m³ según la empresa Amorim. Para saber de donde se obtiene este dato, se resume en la siguiente ilustración:

SUMMARY:

CARBON EMISSIONS	CARBON SINK	CARBON EFFECT
+ 16,5 Kg CO₂	- 613 Kg CO₂ (Sink)	- 596,5 Kg CO₂ (Sink)

Data:

Transport of Raw-material from forest to factory	<p>Average distance to forest: 30 km Actual Load: 15 tonnes (85 m³ / truck) Consumption: 30 l/ 100 km Emission reference (diesel): 3098,2 Kg CO₂ /tep Factory consumption: 355 Kg of Raw material / m³ of Expanded Insulation Corkboard</p> <p>Result: 0,5 Kg CO₂ / m³ of Expanded Insulation Corkboard</p>
Production	<p>PEI = 45 kWh / m³ Emission reference (electricity): 0,354 Kg CO₂ / kWh (Endesa_2012)</p> <p>Result: 16 Kg CO₂ / m³ of Expanded Insulation Corkboard</p>
Total emissions (transport + production)	Result: 16,50 Kg CO₂ / m³ of Expanded Insulation Corkboard

1,727 Kg CO₂e / kg Cork (PwC)	<p>European Committee for Standardization – Draft EN 16449:2012 - Carbon Dioxide sequestration of wood products</p> <p>Result: 613 Kg CO₂ sink / m³ of Expanded Insulation Corkboard</p>
--	---

Ilustración 15 Datos de emisiones de CO₂ en el proceso de transporte y fabricación del corcho negro. Fuente: Amorim³⁹

³⁹ NADAIS, Edgar. Isolamentos térmicos, Amorim [mensaje electrónico]. 21 marzo 2016

				COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2
	Vm fabricantes $\rho(\text{kg/m}^3)$	$\rho(\text{kg/m}^3)$ ITeC	e(mm)	MJ/kg	kgCO2/kg
ITeC	110	110	20	9,10	0,55
	110	110	40	18,20	1,11
	110	110	80	36,41	2,22
	110	110	100	45,51	2,77
FIVE	x	x	x	1-25	x
AMORIM	x	x	x	x	16,50
Libro ⁴⁰	x	x	x	3,013	x

Tabla 18 Coste energético de fabricación del aislamiento del corcho⁴¹

3.6.4 Valorización

El aglomerado de corcho negro se puede reciclar triturándolo y obteniendo el granulado de corcho expandido. Se tritura, tamiza, selecciona y almacena para que, una vez tratado con técnicas de aglomeración y prensado, sirva para crear nuevos productos. El aglomerado resultante se utiliza en el revestimiento de cápsulas de satélites (5 a 6 mm de espesor), en el revestimiento de suelos (existe una amplia gama de tarimas de corcho) y paredes (láminas o papel de corcho) o fabricación de plantillas de calzado y ropa. También se emplea para hacer biomasa.

En cuanto al corcho blanco, su valorización es más complicada, ya que los gránulos de corcho son pulverizados con cola antes de su aglutinado. Por lo que una vez finalizada su vida útil no se puede destinar al compost; debemos intentar reutilizar o reciclar el producto y, como última opción, se llevaría a un vertedero controlado. Según Espadancorks *“en Costa Brava bajo el mar encontraron ánforas que tapaban aceite y los laboratorios confirmaron que volvería a tapar aceite perfectamente, tras 2.000 años. Considero que si era apto para tapar, también para aislar.”*

⁴⁰ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

⁴¹ **Vm fabricantes** → valores medios de densidad proporcionados por fabricantes (gráficos 10 y 11)

$\rho(\text{kg/m}^3)$ → Densidad teórica (ver datos de la tabla 116)

$\rho(\text{kg/m}^3)$ ITeC → Densidad aproximada al valor anterior proporcionada por ITeC

3.6.5 Propiedades

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE	
				12524	13170
Coefficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,034 - 0,060	x	x	0,0366-0,0421
Corcho blanco	W/m.k	x	x	x	x
Corcho negro o expandido	W/m.k	x	x	x	x
Corcho granulado	W/m.k	x	x	x	x
Densidad	kg/m3	x	110 - 130	x	x
Corcho blanco	kg/m3	x	x	x	x
Corcho negro o expandido	kg/m3	x	x	90-140	x
Corcho granulado	kg/m3	x	x	x	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1560	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	5-30	x	5-10	x
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	% en peso	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	x
Precios	€/m2	6-25	10-35	x	x

Tabla 19 Propiedades físicas del aislamiento de corcho. Precios

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	BIBLIOGRAFÍA	
		Pastor, 2012	EcoHabitat
Coefficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	x	x
Corcho blanco	W/m.k	0,054	0,045
Corcho negro o expandido	W/m.k	0,037 - 0,040	0,045
Corcho granulado	W/m.k	x	0,050
Densidad	kg/m3	x	95 - 130
Corcho blanco	kg/m3	x	x
Corcho negro o expandido	kg/m3	x	x
Corcho granulado	kg/m3	x	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	1674	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	5-30	x
Dilatación térmica	m3	x	x
Capacidad higroscópica	% en peso	3% en volumen	0,3
Reacción al fuego	Euroclases	E	x

Tabla 20 Propiedades físicas del aislamiento de corcho

Corcho

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS		
		Amorim	Dofsa	Isocor
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,037 - 0,040	x	0,037-0,040
Corcho blanco	W/m.k	x	0,045-0,049	x
Corcho negro o expandido	W/m.k	0,043 - 0,048	x	0,037-0,040
Corcho granulado	W/m.k	0,040 - 0,042	x	0,044
Densidad	kg/m3	100 - 120	170	100-120
Corcho blanco	kg/m3	x	200 - 250	x
Corcho negro o expandido	kg/m3	110 - 120	x	x
Corcho granulado	kg/m3	65 - 75	x	70-80
Calor específico (Cp)	J/kg.k	1670	x	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	x	x	7-14
Corcho blanco		x	8-15	x
Corcho negro o expandido		20	x	
Dilatación térmica	m3	25 a 50 x10-6	x	x
Capacidad higroscópica	% en peso	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	E	E	E
Precios	€/m2	6-40	10-35	10-50

Tabla 21 Propiedades físicas del aislamiento de corcho según fabricantes. Precios

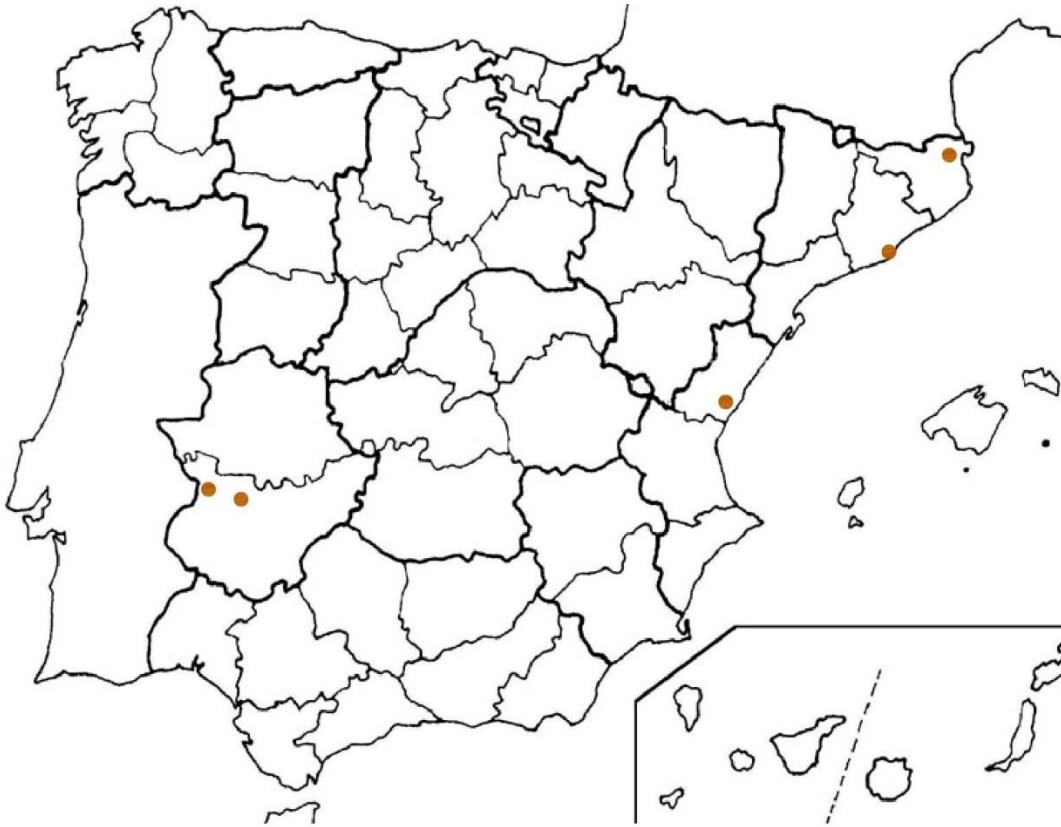
PROPIEDADES MECÁNICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA Pastor, 2012	EMPRESAS	
						AMORIM	DOFSA
Resistencia a compresión	kPa	x	x	90-110	200	180	180
Resistencia a tracción	kPa	x	x	40-60	60 - 90	94	x
Resistencia a flexión	kPa	x	x	110-140	140 - 200	20	120

Tabla 22 Propiedades mecánicas del aislamiento de corcho

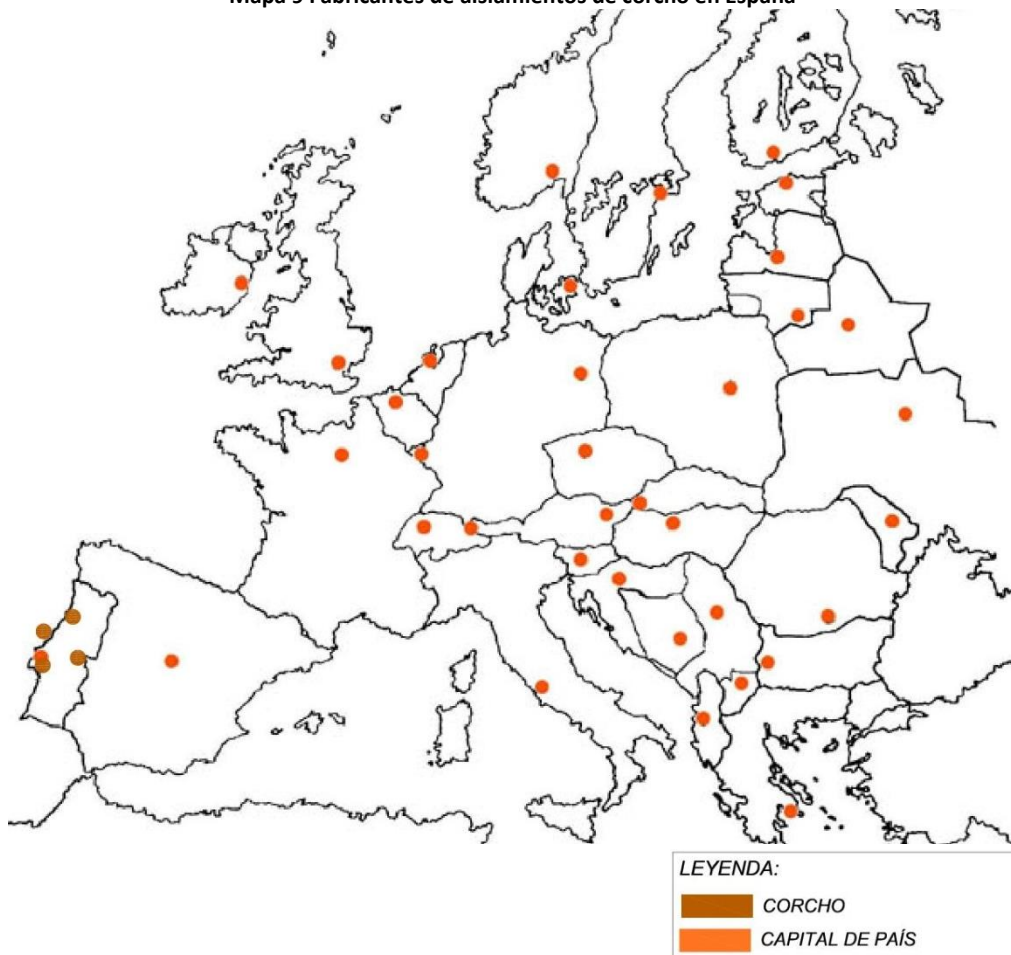
3.6.6 Fabricantes

PRODUCTO	EMPRESA	PAÍS	CIUDAD/-ES
CORCHO	Amorim	Portugal (fábrica)	Rua de Meladas, 105 – 4535-186 Mozelos www.amorimcork.com amorim@amorim.com
	Dofsa	Portugal	Estrada Nacional nº1, nº 827 4509-905 Argoncilhe Tel.: +351 227 419 150 geral@dofsa.pt
	Isocor	Portugal	Avenida António Augusto Aguiar 17, 3º-E, 1050-012 Lisboa Tel.: +351 213 527 191 info@isocor.pt
	Sofalca	Portugal	Estrada Nacional nº2, km 413,2, Bemposta - 2205-213 Abrantes Tel.: +351 241 732 165 e-mail: sofalca@mail.telepac.pt
	La Sureda Cork	España	C. Italia 11 - Grecia 23, Polígono Industrial Recinto Ferial, 17600 Figueres (Girona) Tel.: 972 674 683 lasureda@discorgrup.com
	BCK Barnacork	España	C/ Llull, 47-49 planta 4 local 5 08005 Barcelona Tf: 00 34 93 309 77 83 www.banacork.com info@banacork.com PRODUCCIÓN: C/Santiago Rosiñol, 14 Nave D2, Pol. Ind. Can Humet de Dalt 08213 Polinya
	Espadan Corks, S.L.	España	C/Canonigo Suesta, 17 12410 Carretera Soneja-Azuebar Km 1,9 Castellón Tel.: 964 13 53 79 ó 654 39 22 30 info@espadancorks.com
	Ecosuro	España	La Dula, nº 1. 12600 La Vall d'Uixó (Castellón) Tel.: 964 666 608
	Apl. Industriales del corcho	España	Pol. "ElPrado", s/n Apdo 503 06800 Mérida (Badajoz)
	Corchos de Mérida S.A.	España	Ctra. Estación km 1. 06500 San Vicente de Alcántara (Badajoz) Tel.: 924 41 30 00
	Sanvicork, S.A. Granulados de corcho	España	Calleja de Morera, 31 06500 San Vicente de Alcántara (Badajoz)
	Salco	España	Máquina s/n, 06500 San Vicente de Alcántara (Badajoz)

Tabla 23 Fabricantes de aislamiento de corcho en España y Europa



Mapa 9 Fabricantes de aislamientos de corcho en España



Mapa 10 Fabricantes de aislamiento de corcho en Europa

3.7. Lana de oveja

3.7.1 Naturaleza y composición

Durante miles de años, las ovejas han sido capaces de adaptarse a los entornos más complejos, la lana les protege en las estaciones cálidas, frías, húmedas y secas (ilustración 16⁴²). Durante este tiempo, el hombre ha utilizado también la lana para protegerse, de hecho los nómadas mongoles ya utilizaban fieltro y tejidos almohadillados de lana de oveja como capa aislante en las paredes de sus yurtes. Debido a su



Ilustración 16 Oveja merina. Fuente: Wikipedia

naturaleza rizada, cuando las fibras de lana se embanan juntas, forman millones de pequeñas bolsas de aire que atrapan el aire, y a su vez sirve para mantener el calor en invierno y durante el verano.

La lana es la fibra tupida, suave y rizada que recubre la piel de algunos mamíferos como las ovejas, su presencia nos proporciona una extracción ininterumpida. Una sola fibra de lana puede tener un diámetro que mide entre 12 y 120 μm (micras) de espesor. La longitud suele variar entre los

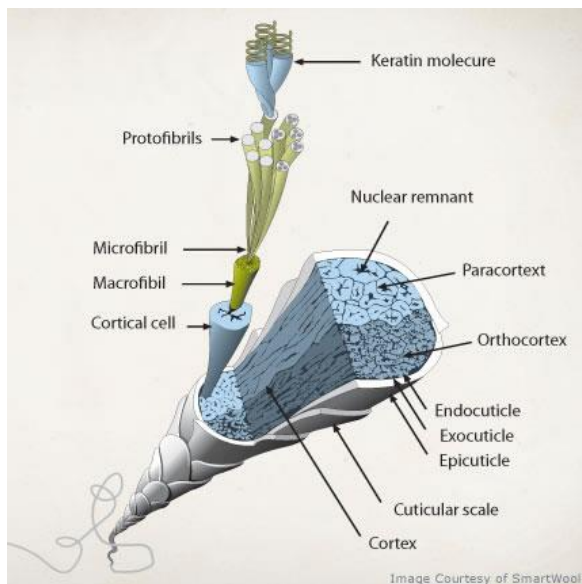


Ilustración 17 Vista microscópica de una fibra de lana de oveja. Fuente: sheepwoolinsulation

20 y 350 mm, esta medida varía dependiendo de la raza y la frecuencia de esquila de la oveja. Las particularidades de la lana comprenden la finura, color, uniformidad, capacidad de engarzado debido a su longitud y las cantidades de grasa de la lana.

Si miramos una fibra de lana al microscopio (ilustración 17⁴³) observamos que presenta una cutícula formada por diminutas escamas imbricadas como las tejas de un tejado y, además, están atravesadas por numerosos canalillos que son los causantes de su capacidad

⁴² Oveja merina. En: Colaboradores de Wikipedia. *Wikipedia, La enciclopedia libre* [en línea], 2016. [Consulta: 18 junio de 2016]. Disponible en: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a1/Merino_sheep.png/250px-Merino_sheep.png en https://es.wikipedia.org/wiki/Oveja_merina

⁴³ Vista microscópica de una fibra de lana de oveja. En: Sheepwoolinsulation [web] Ireland: [s.n.] [Consulta: 25 marzo 2016]. Disponible en: http://sheepwoolinsulation.ie/images/whywool_fibre_t.jpg en http://sheepwoolinsulation.ie/why_wool/

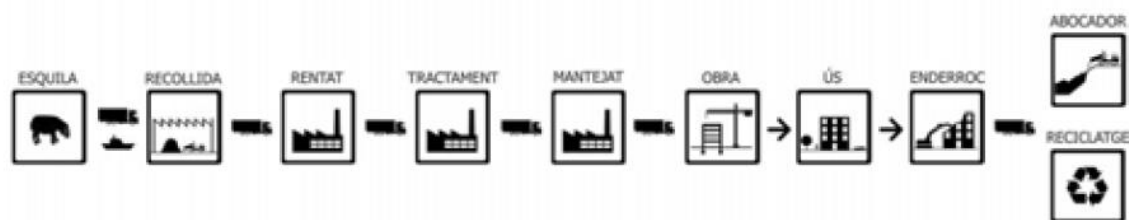
de absorber humedad. Esta agua absorbida y su composición en queratina la convierten en un material poco combustible y con el punto de inflamación más elevado de todas las fibras naturales.

La lana está compuesta, químicamente hablando, de proteínas y una fina capa de hidrocarburos de naturaleza grasa. Las proteínas son de dos tipos⁴⁴:

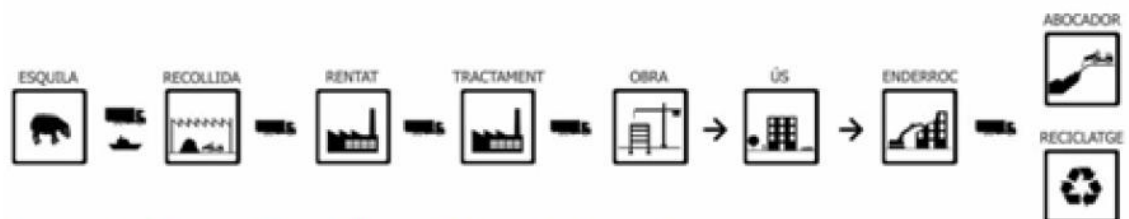
- ⊕ Queratina: es un polímero elemental que presenta la siguiente composición química: 51% de carbono, 17% de nitrógeno, 22% de oxígeno, 7% de hidrógeno y 3% de azufre. Protege el cuerpo del medio externo y es por ello insoluble en agua. Esta proteína por su estructura aporta elasticidad, resistencia y hace que la lana sea esponjosa.
- ⊕ Lanolina o grasa lanar: sustancia de aspecto graso con la misión de envolver cada fibra con una película impermeable dando una coloración amarillenta.

3.7.2 Proceso de fabricación

A continuación se describe al proceso de transformación de la lana para obtener un producto aislante térmico. Consta de las siguientes fases:



Esquema del ciclo de vida de l'aïllament de llana d'ovella en mantell



Esquema del ciclo de vida de l'aïllament de llana d'ovella en floc

Ilustración 18 Esquema del ciclo de vida del aislamiento de lana de oveja. Fuente: Societat orgànica⁴⁵

⁴⁴ Lana [en línea] Universidad Nacional Ingeniería UNI, 2010 [S.l.:sn.] [Consulta: 22 marzo 2016] Disponible en: <http://es.slideshare.net/256yaroti/monografia-lana-final-xd>

⁴⁵ SO Societat Orgànica. *Anàlisi ambiental dels aïllaments de llana d'ovella i de multifibres fabricats per RMT Recuperación de materiales textiles SA. Informe final*. Barcelona: SO Societat Orgànica, 2009 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en: <http://rmt-nita.es/downloads/analisi-ambiental-dels-aillaments-de-llana-dovella-i-de-multifibres-fabricats-per-RMT-SA.pdf>

1) Adquisición de la materia prima

Su procedencia es de la oveja (ilustración 19⁴⁶), de la cual se consigue esta materia prima mediante el esquilaje. Su extracción se realiza una vez al año, entre los meses de mayo y junio. Por naturaleza, la lana se desprende de la oveja en un intento de aclimatarse para la nueva estación. La producción dependerá de la especie del animal esquilado, pero se calcula que una oveja Merina proporciona anualmente entre 3 y 5 kilos de lana. Es importante tener en cuenta que para conseguir un kilogramo de lana limpia son necesarios dos kilogramos de lana sucia. Se llama lana sucia aquella que no ha tenido ningún tratamiento.



Ilustración 19 Lana de oveja. Fuente: Huesca-all

La lana sucia se almacena comprimida en sacos con una densidad aproximada de 1000kg/m^3 . Una vez en el centro de transformación pasa a través de una cargadora que abre la lana para poder proceder a la extracción de grasa. En España la lana tiene diversas procedencias⁴⁷:

- Lana lavada de origen animal 50%
- Lana lavada de origen internacional 5%
- Deslanado de pieles 30%
- Subproducto del peinado de la lana 3%
- Reciclado de colchones de lana 12%

2) Centro de lavado

Una vez llega la lana al reactor o unidad de desengrasado, se somete a una circulación de baños de disolvente que lo que permite es extraer secuencialmente la grasa que estaba en la fibra. Terminado el proceso, el disolvente se recupera, se filtra para volver a usarlo y la grasa se destina a usos cosméticos, farmacéuticos o usos técnicos



Ilustración 20 Proceso de lavado de la lana. Fuente: Manuel Rodrigues Tabares

⁴⁶ Lana de oveja. En: huesca-all.biz [web] Huesca: [s.n.] [consulta 22 marzo 2016] Disponible en: <http://www.es.all.biz/img/es/catalog/33016.jpeg> en http://huesca-ar.all.biz/aislante-de-lana-de-oveja-g33016#.V26R4_mLS00

⁴⁷ Análisis ambiental de los aislamientos de lana de oveja y de multifibras fabricadas por RMT Recuperación de materiales textiles SA. Informe final. [en línea] Barcelona: Societat orgànica. Diciembre 2008 [Consulta: 22 marzo 2016] Disponible en: <http://rmt-nita.com/downloads/analisi-ambiental-dels-aillaments-de-llana-dovella-i-de-multifibres-fabricats-per-RMT-SA.pdf>

industriales. Así, desengrasada la lana, ésta se somete a un proceso térmico-mecánico de espolvoreado previo al proceso de aclarado acuoso que permite obtener, por un lado el polvo de uso agrícola y la lana lavada para usos textiles y fabricación de aislamientos.

Se procede al lavado con jabón, proceso que consiste en un esponjado inicial mediante una máquina específica y posterior lavado con agua caliente con la incorporación de un detergente biodegradable (ilustración 20⁴⁸). Es una etapa esencial para la eliminación de impurezas. A continuación se aportan datos interesantes de este proceso⁴⁹:

- Energía eléctrica 1,026 MJ/kg lana “bruta”
- Energía térmica (gas natural) 3,78 MJ/kg lana “bruta”
- Consumo de agua entre 15 y 20l por Kg/lana “bruta”
- Consumo de detergente 0,010 – 0,008 kg/lana “bruta”

3) Tratamiento de las lanas

En esta etapa se llevan a cabo las siguientes operaciones:

- ✓ Higienización consta de dos tratamientos:
 - Biocidas: agua oxigenada en 2% y permetrina en 0,350 ppm/kg, también se usa cal.
 - Compuestos minerales: sales de bórax 13%.

Los valores de energía y CO₂ globales para el tratamiento de biocidas y compuestos minerales se reflejan en la siguiente tabla:

Tratamiento	MJ/kg	Kg2/kg
Tratamiento con biocidas	16,84	1,45
Tratamiento con sales de bórax	18,92	1,55

Tabla 24 Energía y CO₂ para el tratamiento de biocidas y compuestos minerales de la manta de lana de oveja. Fuente: Societat orgànica⁵⁰

- ✓ Tratamiento para la resistencia al fuego (retardante) aunque la lana debido a la presencia de nitrógeno en su composición aproximadamente un 17%, ya tiene cierta resistencia al fuego, su punto de inflamación es de 560°C.⁵¹

⁴⁸ Proceso de lavado de la lana. En: Manual Rodrigues Tabares [web] A Guarda: Manual Rodrigues Tabares [Consulta: 22 marzo 2016] Disponible en:

<http://www.stmrt.pt/index.asp?idedicao=51&idSeccao=773&Action=seccao>

⁴⁹ Datos aportados por la empresa Textil Manuel Rodrigues Tavares S.A. (A Guarda)

⁵⁰ Análisis ambiental de los aislamientos de lana de oveja y de multifibras fabricadas por RMT Recuperación de materiales textiles SA. Informe final. [en línea] Barcelona: Societat orgànica. Diciembre 2008 [Consulta: 22 marzo 2016] Disponible en: <http://rmt-nita.com/downloads/analisi-ambiental-dels-aillaments-de-llana-dovella-i-de-multifibres-fabricats-per-RMT-SA.pdf>

⁵¹ Why should I use wool?. *SheepWool Insulation* [en línea] Ireland [S.l.; s.n.] [Consulta: 25 marzo 2016]. Disponible en: <http://sheepwoolinsulation.ie/>

Energía eléctrica: 0,207 MJ/kg lana neta tratada

4) **Fabricación de mantas**

En esta fase se lleva a cabo un proceso de termofijado, la cual sirve para fijar las características finales del manto de lana; como estabilidad, el peso final, aspecto y tacto. Se logra mediante el control de la temperatura (cámara de termofijación), tiempo de tratamiento y tensión del tejido. El proceso comprende el calentamiento, penetración química, transformación, estiramiento y enfriamiento. Durante este proceso de termofijado se aplica un adhesivo de polietileno ó poliéster que supone un 10-15 % del peso total (actualmente ya se está empleando un adhesivo de PET reciclado).

- Energía eléctrica 0,27 MJ / kg lana en manto
- Energía térmica (Gas Natural) 1,8 MJ / kg lana en manto

Básicamente, la lana es introducida a una cámara en condiciones reguladas para que absorba calor hasta el punto que el interior y la superficie esté caliente de manera uniforme. En este momento se da la penetración térmica, esto permite que las uniones moleculares débiles se suelten del sistema. A continuación, se reorganizan las cadenas moleculares de acuerdo a las nuevas condiciones mecánicas. Este proceso es inmediato y termina con el enfriamiento del manto que presenta las nuevas características como tejido

Datos importantes a conocer del proceso de fabricación es que la sal de bórax del tratamiento, implica aproximadamente el 90% del consumo de energía de esta fase y un 21% respecto del total. En el caso del termofijado, por ejemplo, el peso del adhesivo de polipropileno supone alrededor del 65% del consumo de energía de este proceso y un 24% del total⁵².

Este aislamiento se utiliza para aislar paredes, cubiertas y forjados y está disponible en forma de mantos, finos fieltros o copos a granel.

⁵² Análisis ambiental de los aislamientos de lana de oveja y de multifibras fabricadas por RMT Recuperación de materiales textiles SA. Informe final. [en línea] Barcelona: Societat orgànica. Diciembre 2008 [Consulta: 22 marzo 2016] Disponible en: <http://rmt-nita.com/downloads/analisi-ambiental-dels-aillaments-de-llana-dovella-i-de-multifibres-fabricats-per-RMT-SA.pdf>

3.7.3 Impacto medioambiental

Respecto a las ventajas sobre el medio ambiente es necesario conocer si las ovejas han sido tratadas con insecticidas y fungicidas ya que esto deja un residuo en el vellón y puede provocar la contaminación de las aguas subterráneas si se usa incorrectamente.

La lana es un recurso renovable, el ovino (independientemente de su raza) puede llegar a producir entre 2,3 kg y 3,6kg de lana bruta al año, como se mencionó anteriormente una parte debe ser esquilada para que no afecte la salud del animal. Además se puede reciclar de productos textiles ó de colchones fuera de uso.

Además, la fibra se puede recuperar de la demolición o rehabilitación de edificios, para una vez tratada, incorporarse al ciclo de fabricación de nuevos mantos y a granel. Con ello contribuye a reducir el problema de consumo de recursos no renovables y la generación de residuos sólidos en la construcción, es decir, conseguimos que desaparezca la imagen de residuo para dar paso a la de alimento de otros materiales⁵³.

Es importante además conocer la huella hídrica que se produce en el lavado de la lana. Se sabe que muchos de los centros de lavado de lana en Europa han cerrado porque no han sido capaces de afrontar los elevados costes que requieren los tratamientos de aguas residuales, tratamientos complejos de depuración; no siendo siempre efectivos. A su vez, los productores de lana de esquila han ido exportando la lana a China para que sea lavada donde la regulación no es tan estricta.

Debido a este problema, se está desarrollando un proyecto a nivel europeo llamado Eco-Efficient Dry Wool Scouring with total by-products recovery (WDS), en español Eco-Eficiente lavado de lana en seco con la recuperación total de los subproductos. El objetivo principal es obtener lana de buena calidad, con una mejora en el grado de blanco y facilitando el proceso posterior de peinado. Como segundo objetivo, recuperar los componentes de la lana que suponen alrededor del 50% del peso de la lana en bruto; éstos son la grasa que es la lanolina y el polvo de lana que contiene fibra vegetal. Y por último, el ahorro de energía y consumo de agua.⁵⁴

- Composición: el aislamiento de lana de oveja, como se ha explicado, lleva un adhesivo de polietileno y sales de bórax.

⁵³ RODRÍGUEZ GÁLVEZ, Helena. Aislante naturales III: Lana de oveja En: COR & Asociados y aRRsa. Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.: sn.] [ca. 2015] [Consulta: 30 de abril de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/aislantes-naturales-iii-lana-de-oveja/>

⁵⁴ Video Life WDS. Vídeo documental WDS (Wool Dry Scouring) [vídeo en línea]. RMT Recuperación de Materiales Textiles, 2016 [consulta 27 abril 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=Ud-gq-hKQOQ&feature=youtu.be>

- Energía: el proceso de transformación llevado a cabo para obtener el aislante conlleva un consumo de energía de 43MJ/kg lana en manto aproximadamente.
- CO₂: la mayoría de emisiones de CO₂ y consumo de energía se da durante el transporte, debido a la necesidad de mover el producto mediante camiones. Por lo que debemos aplicar el sentido común y emplear lana obtenida de un productor local.

El uso de este material y la compra directa del producto a los propios pastores ayuda a mantener las pequeñas economías ganaderas que se encuentran prácticamente en toda la península y las islas.

Debemos tener en cuenta que si se trabaja en ambientes cerrados es recomendable la utilización de mascarillas anti-polvo y de protectores para los ojos.

	COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO ₂
	MJ	kgCO ₂ /kg
ITeC	x	x
FIVE	10-40	x
RMT(mantos)	x	1,55/1,45
RMT(granel)	x	0,81/0,71
Libro ⁵⁵	2,39	x

Tabla 25Coste energético de la fabricación del aislante de lana de oveja

3.7.4 Valorización

El aislamiento de lana de oveja lleva un adhesivo de polietileno y sales de bórax; los cuales no son compostables. Por estos debemos prestar atención una vez finalice la vida útil del aislamiento, ya que la materia prima es un material que tarda semanas ó días en desintegrarse, pero el adhesivo puede llegar a permanecer en la naturaleza miles de años con las consecuencias negativas esto conlleva.

Debemos procurar reutilizar ó reciclar el producto y en último caso llevarlo a un vertedero controlado.

⁵⁵ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

3.7.5 Propiedades

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitat
Coefficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,035-0,050	x	x	0,040	0,035
Granel		x	x	x	x	x
Mantos		x	x	x	x	0,035-0,040
Placas		x	x	x	x	x
Densidad	kg/m3	x	x	x	13,5 a 20	x
Granel		x	x	x	x	x
Mantos		x	x	x	x	x
Placas		x	x	x	x	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	x	1.000	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1a2	x	x	1a2	1,66
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	33%	40%
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	x	b2
Precios	€/m2	<25	x	x	x	x

Tabla 26 Propiedades aislante de lana de oveja. Precios

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS	
		RMT	Victermofitex
Coefficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	x	x
Granel		0,041-0,046	x
Mantos		0,043	0,037-0,043
Placas		0,035	x
Densidad	kg/m3	x	x
Granel		15-20	x
Mantos		15	15-30
Placas		35	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	900-1300
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1	1-5
Dilatación térmica	m3	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	D	D
Precios	€/m2	≈3-4 / 6-15	5-20

Tabla 27 Propiedades del aislamiento de lana de oveja según empresas. Precios

3.7.6 Fabricantes

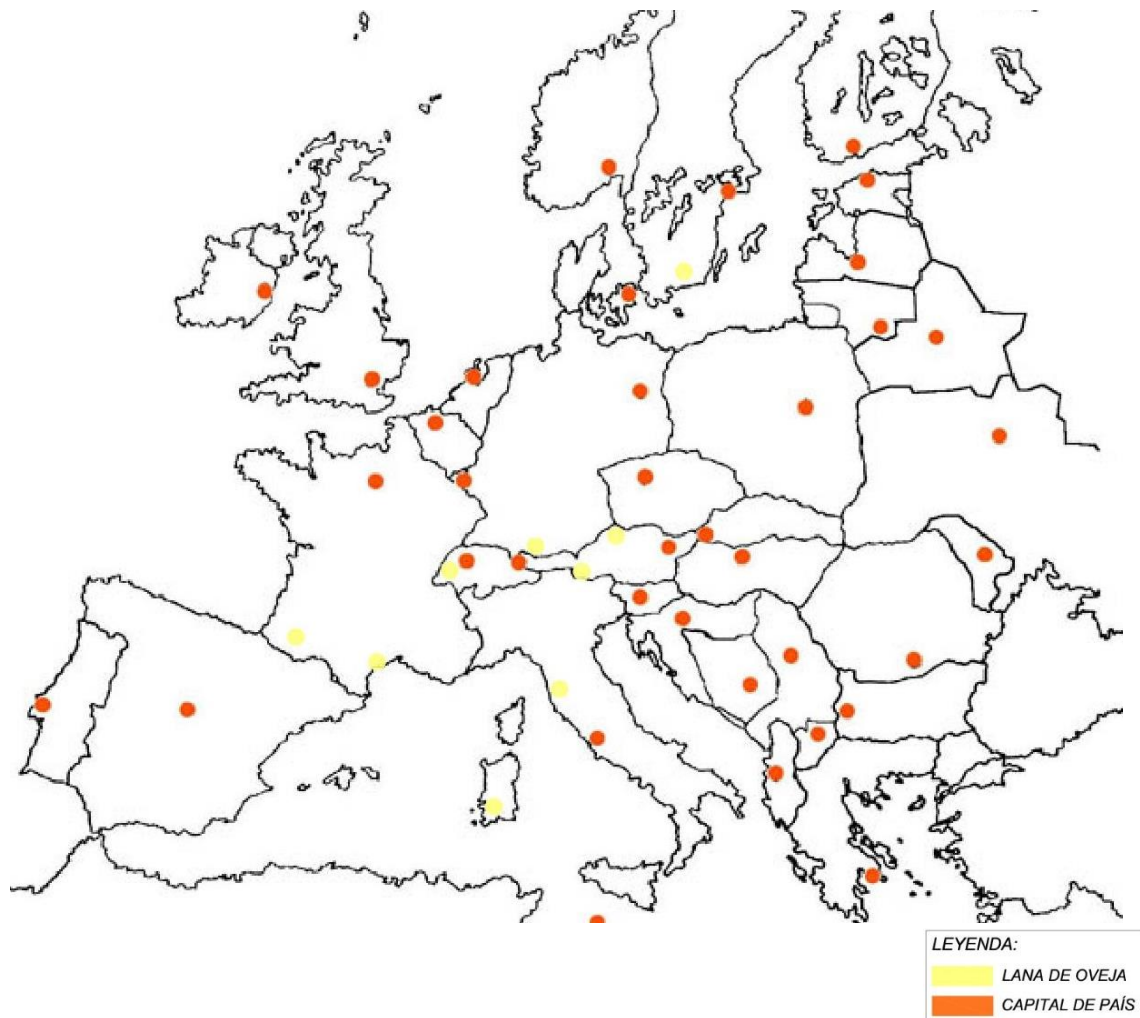
MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Lana de oveja	RMT, Recuperación de Materiales	España	Barcelona	Pol. Ind. Can Magre - c/ Narcis Monturiol - Joan Güell 08187 Santa - Eulàlia de Ronçana Tel.: +34 93 844 89 78 comercial@rmtsa.es
	Victermofitex, S.L.	España	Barcelona	C/ Sant Lorenç Desmunts, 16B Polígon Industrial Malloles 08500 Vic Tel.: 93 889 26 02 / 609 634 996 E-mail: victermofitex@termofitex.com
	Naturlaine	Francia	Ogeu les Bains	Zone industrielle des Tembous 64680 Tel.: 05 59 36 22 09
	Fibranatur	Francia	Saint-Amans- Valtoret	Avenue du Moulin, 81240 Tel.: +33 6 27 81 82 59 www.fibranatur.com
	Woolin	Austria	Innervillgraten	Villgrater Naturprodukte, Josef Schett KG A-9932 116 – Tel.: +43 (0) 4843-5520
	IsolenaWolle	Austria	Waizenkirchen	Klosterstrabe 20 - 4730
	Werdnferfer Schafwoll-Landen	Alemania	Mittenwald	Claudia Brandner Hochstrasse 10 Tel.: +49 (0) 8823- 58 32
	Daemwool	Suiza	Guggisberg	Plötsch 378b / Hirschmatt 3158 Tel.: +41 31 735 55 74
	Isolana Systems SRL	Italia	Prato	Via F. Ferrucci nº33 – 59100 Tel.: +39 0574 35726 – info@isolana.net
	Edilana	Italia	Cerdeña	Zona P.I.P. – 09036 Guspini – Tel.:0709371808 – info@edilana.com
	Isolen BM naturens original	Suecia	Alvesta	Allbogatan 68 342 30 Tel.: 0472-65 04 70

Tabla 28 Fabricantes de aislamiento de lana de oveja en España y Europa

Lana de oveja



Mapa 11 Fabricantes de aislamientos de lana de oveja en España



Mapa 12 Fabricantes de aislamientos de lana de oveja en Europa

3.8. Lino

3.8.1 Naturaleza y composición

El lino es una hierba perteneciente a la familia de las lináceas, de la que existen más de 80 variedades. La más común es de ciclo anual. Como el algodón, la fibra de lino es un polímero de celulosa, pero su estructura es más cristalina haciéndola más fuerte, rizada y rígida para procesar, y más fácilmente arrugable. El rango de las fibras de lino en longitud puede ser hasta de 90 cm y de un promedio de 12 a 16 micras de diámetro. Muy ramificada, con hojas planas y flores violeta (ilustración 21⁵⁶) en cada uno de los extremos. Cada flor produce una cápsula que alberga varias semillas oleaginosas,



Ilustración 21 Flor del lino. Fuente: Wikipedia

aplanadas y picudas, llamadas linaza. De ella se extrae un aceite conocido con el mismo nombre de la semilla. Las fibras paralelas que forman la corteza del tallo son las que constituyen la hilaza. La planta prospera en terrenos arcillosos, húmedos, próximos al mar en muchos casos. Se siembra en el otoño o la primavera y nace en pocos días.

El lino fue una de las primeras fibras que el hombre utilizó, antes que la lana. Históricamente se puede fijar la cultura del lino en el momento en que los hombres cazadores se hacen pastores, en el período Neolítico entre el 3000 y el 1000 a. de C. En el siglo XIX experimentó un notable auge para la confección de ropa interior, ropa de cama, mesa, toallas y prendas delicadas de uso externo. Las fibras más finas y de longitud regular de lino son hiladas en hilos para prendas. Más del 70% del lino va a la manufactura de ropa, en donde es valorado por su excepcional frescura en climas. Las fibras más cortas de lino producen hilos más pesados utilizables en toallas de cocina, velas, tiendas y lonas. Fibras de menor grado son empleadas como refuerzo y relleno de compuestos termo-plásticos y resinas termoestables usadas en sustratos interiores de automóviles, aislantes, muebles y otros productos de consumo.

⁵⁶ Flor de lino. En: Wikipedia, la enciclopedia libre [en línea] actualización 16 marzo 2015 [consulta: 3 mayo 2016]. Disponible en: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/ad/Perennial_flax_or_linum_perenne.jpg/220px-Perennial_flax_or_linum_perenne.jpg en https://es.wikipedia.org/wiki/Linum_usitatissimum

3.8.2 Proceso de fabricación

Una vez la planta sirve para ser cosechada, que es a los tres meses de ser plantada aproximadamente, se recolecta con una máquina cosechadora, cortando los tallos a ras del suelo (ilustración 22⁵⁷).



Ilustración 22 Lino cosechado. Fuente:
programadetextilizacion

El tallo se sumerge en agua para remojar la pulpa hasta el punto que la fibra queda suelta; esta inmersión se acelera si el agua es estancada, provocando la fermentación y obligando a que las fibras se separen entre sí (éstas quedarán de color amarillento; si la inmersión es en agua corriente, el color final de la fibra es más blanco).

Una vez que las plantas están secas, el siguiente paso es el enriado, proceso que se realiza para que se produzca una transformación de los tallos por acción de las encimas, que activadas por la humedad y el calor, producen un proceso de putrefacción que deteriora la lignina para poder eliminarla del tallo de la planta.

El siguiente paso es el triturado o agramado en el que se corta la planta en pequeños fragmentos de manera que la madera quede separada de las fibras. A continuación se procede al espadillado en el que se separan con mayor profundidad las fibras de la paja y, finalmente, el rastrillado en el que se hacen pasar los trozos a través de una serie de rastrillos de los que sobresalen una serie de agujas colocadas a diferentes distancias para conseguir separar definitivamente la fibra de la madera ó cañamiza.

Las fibras de lino son mezcladas con aditivos como las sales de bórax y son tratadas para darle forma al material. La composición de estos aislantes es de un 85% de fibras y un 15% de poliéster como aglutinante⁵⁸. También pueden estar compuestos de un 80% de fibras de lino, 10% de almidón de patata y 10% de sal bórica⁵⁹.

⁵⁷ Lino cosechado. En: programa de textilización [web] [s.l.]: Francisco Mejia, 2015 [consulta: 3 mayo 2016]. Disponible en: https://images-blogger-opensocial.googleusercontent.com/gadgets/proxy?url=http%3A%2F%2F1.bp.blogspot.com%2F-8fPcOJNgBT0%2FVJrYuYK5GTI%2FAAAAAAAAAARac%2F7j1bY5Mkrzg%2Fs1600%2FText%252B23.jpg&container=blogger&gadget=a&rewriteMime=image%2F* en <http://programadetextilizacion.blogspot.com.es/2015/01/capitulo-4-fibras-vegetales-y-minerales.html>

⁵⁸ Datos aportados por: RMT, Recuperación de Materiales Textiles [correo electrónico]. 08 abril 2016

⁵⁹ Tablero aislante de lino, topo DP (ficha técnica) [en línea]. Biohaus, 2009 [consulta 3 mayo]. Disponible en: <http://www.biohaus.es/pdf/Flachshaus.pdf>

Lino



Ilustración 23 Proceso fabricación aislante de lino. Fuente: futura-sciences



Ilustración 24 Proceso fabricación aislante lino. Fuente: futura-sciences



Ilustración 25 Obtención del aislante de lino. Fuente: futura-sciences

Se comercializa en forma de mantas, paneles semirígidos, a granel o en forma de fieltro o rollos. Es especialmente sensible a la humedad por lo que solamente debe colocarse en zonas secas.

3.8.3 Impacto medioambiental

La fibra se puede recuperar de la demolición o rehabilitación de edificios, para una vez tratada, incorporarse al ciclo de fabricación de nuevos mantos y a granel. Con ello contribuye a reducir el problema de consumo de los recursos y la generación de residuos sólidos en la construcción, es decir, conseguimos que desaparezca la imagen de residuo para dar paso a la de alimento de otros materiales⁶⁰.

- Composición: el aislamiento de lino lleva poliéster como aglutinante y sales de bórax como retardante contra el fuego.
- Energía y CO₂: la mayoría de emisiones de CO₂ y consumo de energía se da durante el transporte, debido a la necesidad de mover el producto mediante camiones desde el campo una vez que se cosecha al centro de transformación y, finalmente, a los lugares de venta. Por lo que debemos aplicar el sentido común y emplear productos locales para reducir estas emisiones.

Debemos tener en cuenta que si se trabaja en ambientes cerrados es recomendable la utilización de mascarillas anti-polvo y de protectores para los ojos.

	COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO ₂
	MJ	kgCO ₂ /kg
ITeC	x	x
FIVE	25-40	x
RMT	x	x
Libro ⁶¹	0,907	x

Tabla 29 Coste energético de la fabricación del aislante de lino

3.8.4 Valorización

El aislamiento de lino se aglutina con poliéster y como retardante al fuego se emplean sales de bórax; los cuales no son compostables. Por estos debemos prestar atención una vez finalice la vida útil del aislamiento, ya que la materia prima es un material que tarda días ó semanas en desintegrarse, pero el adhesivo puede llegar a permanecer en la naturaleza miles de años con las consecuencias negativas esto conlleva.

Debemos procurar reutilizar ó reciclar el producto y en último caso llevarlo a un vertedero controlado.

⁶⁰ RODRÍGUEZ GÁLVEZ, Helena. Aislante naturales III: Lana de oveja En: COR & Asociados y aRRsa. Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.: sn.] [ca. 2015] [Consulta: 30 de abril de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/aislantes-naturales-iii-lana-de-oveja/>

⁶¹ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

3.8.5 Propiedades

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitar
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,037-0,047	x	x	0,040-0,050	0,037-0,047
Resistencia térmica	m ² .k/W	x	x	x	x	x
Densidad	kg/m ³	x	x	x	20-40	25
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	x	1500	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1-2	x	x	1-2	1-2
Dilatación térmica	m ³	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	% en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	x	C-D
Precios	€/m ²	<25	x	x	x	x

Tabla 30 Propiedades del aislamiento de lino. Precios

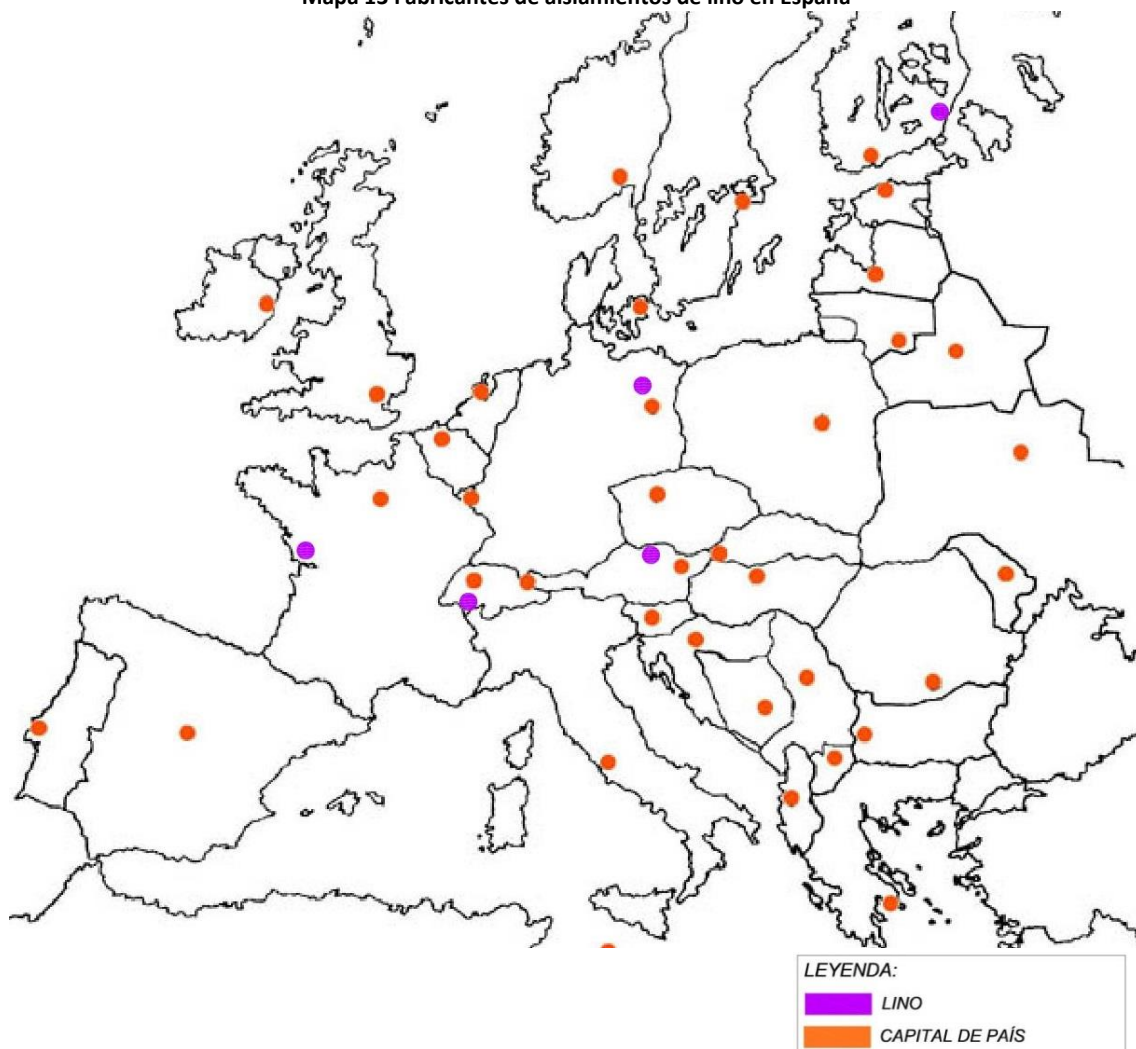
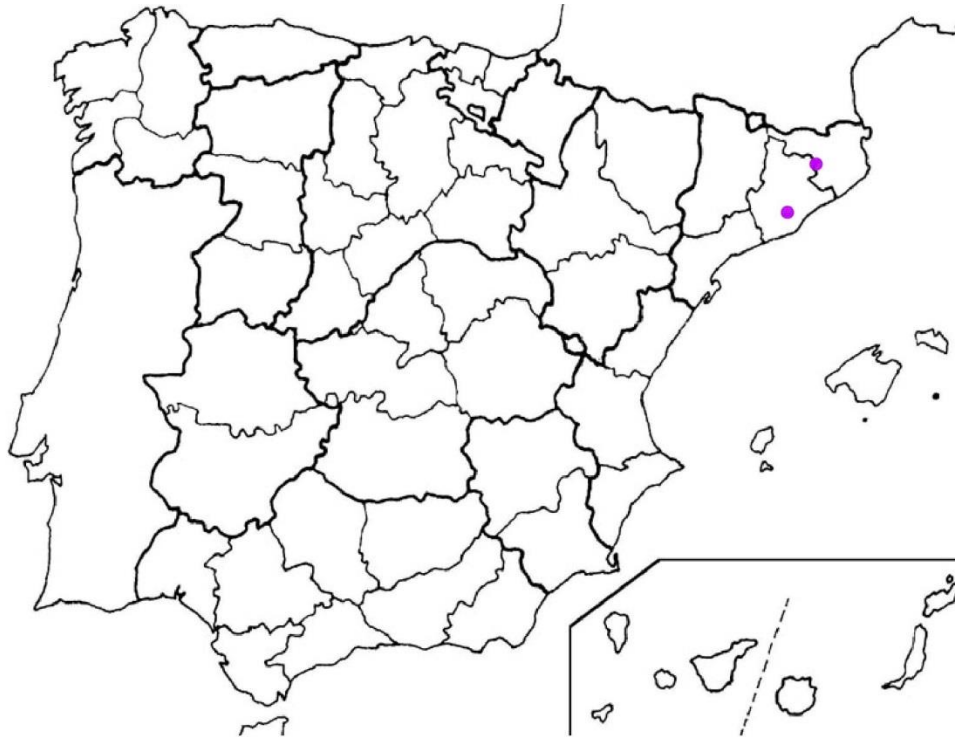
PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS	
		RMT	Flachshaus
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,037	0,037-0,040
Densidad	kg/m ³	30	30-36
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	1660
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1	1
Dilatación térmica	m ³	x	x
Capacidad higroscópica	% en peso	12	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	B2
Precios	€/m ²	6-13	8-20

Tabla 31 Propiedades del aislamiento de lino según fabricantes. Precios

3.8.6 Fabricantes

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Lino	RMT, Recuperación de Materiales	España	Barcelona	Pol. Ind. Can Magre - c/ Narcis Monturiol - Joan Güell 08187 Santa - Eulàlia de Ronçana Tel.: +34 93 844 89 78 comercial@rmtsa.es
	Victermofitex, S.L.	España	Barcelona	C/ Sant Lorenç Desmunts, 16B Polígon Industrial Malloles 08500 Vic Tel.: 93 889 26 02 / 609 634 996 E-mail: victermofitex@termofitex.com
	Biofib`Isolation	Francia	Saint Gemme la Plaine	Le Fief Chapitre – 85400 Tel.: 02 51 30 98 37
	Flachshaus GmbH	Alemania	Brandenburg	Tannenkoppelweg 1 – 16928 Pritzwalk - Falkenhagen
	Naturfaser Fölser	Austria	Helfenberg	Piberberg 25 A-4184 Tel.: +43 (0) 644/73635342 nff@naturfaser-foelser.at
	Isolina Oy	Finlandia	Särkisalmi	Rantatie 16 FI-59310 Tel.: +358 5 483540 – info@isolina.com
	Magripol S.A.	Suiza	Aigle	Zi2 108, Chemin des lles 1860 Tel.: +41 24 468 57 57

Tabla 32 Fabricantes de aislante de lino en España y Europa



3.9. Madera

3.9.1 Naturaleza y composición

La madera se compone de lignina (entre un 21 y un 25%), carbohidratos (entre un 25 y un 45%) y un conjunto de productos que varían según el tipo de madera (terpenos, ácidos, fenoles y otros, cuya participación fluctúa entre un 2% y un 8%). El carbohidrato fundamentalmente es la celulosa, pero normalmente la misma coexiste con hemicelulosas (Glucosa, Galactosa, Manosa, Xylosa y Arabinosa), más abundantes en las maderas duras. Las hemicelulosas son eliminadas en el proceso de formación de la pulpa de fibra de madera debido a su carácter más inestable con respecto a las celulosas.

En un principio, no eran razones ecológicas las que movían a la fabricación de tableros de fibra de madera, sino más bien el aprovechamiento lógico de los residuos de la industria forestal, muy abundantes en



Ilustración 26 Aislante de madera. Fuente: futura-sciences.com

Alemania, de donde procede su primera industrialización. Estos tableros resultaban muy útiles para el aislamiento de las viviendas, pero fueron sustituidos por los materiales sintéticos debido a la disponibilidad y al precio.

3.9.2 Proceso de fabricación

En primer lugar hablaremos del aislante de **fibra de madera (WF)** que está formado por fibras lignocelulósicas mediante la aplicación de calor y/o presión. La cohesión se consigue por las propiedades adhesivas intrínsecas de las fibras o por adicción de un aglomerante sintético.

Los productos aislantes de fibras de madera, con o sin adicción de un agente aglomerante y/o aditivos, están compuestos al menos por un 80% en peso de fibra de madera. Todos los tableros aislantes tienen un contenido de humedad comprendido entre el 4 y el 9%.⁶²

Este material, hoy día tan apreciado tenía en sus comienzos un sencillo proceso de fabricación que comenzaba en un molino y con ayuda de vapor de agua, se desfibraba la madera troceada, procedente de los recortes de las serrerías, a partir de trozos de madera de abeto. Se añadía agua para activar la lignina de la madera y se formaba una pasta que se vertía en unos marcos de madera con una malla en la parte inferior, por donde evacuaba el agua sobrante y se dejaban secar al aire, apilando los marcos uno encima del otro. Una vez seco, se obtenía un tablero blando de fibra de madera del tamaño del marco del molde, las fibras quedaban unidas por el aglutinante, que como biopolímero, supone la lignina. Para poder satisfacer la creciente demanda de este material, se procedió al secado de los tableros en hornos. A continuación, se inició la clásica fabricación industrial en cadena. El secado de una cada vez mayor producción de tableros obligaron a su vez a la construcción de hornos cada vez más grandes, hasta seis alturas y 50m de longitud.⁶³

El proceso de fabricación, en la actualidad, se describe a continuación:

Una vez obtenida la materia prima a partir de trozos de madera de abeto y píceas, se procede al **astillado o desmenuzamiento** que consiste en obtener partículas cuya anchura y espesor son aproximadamente iguales, y cuya longitud es por lo menos cuatro veces mayor que el espesor en el sentido del hilo de la madera.

Las astillas se obtienen utilizando una desmenuzadora múltiple compuesta por diez o más cuchillas, que producen fragmentos de tamaño uniforme, por lo que rara vez hay que proceder a cribarlos. Actualmente existen máquinas que manipulan maderas de 0,50 a 1 metro y en algunos casos de 6 a 8 metros. La capacidad de los equipos difiere entre 300 y 3.000 Kg de madera a astillar por hora. Las astillas que se obtienen son de espesor de 0,2 a 0,5 mm y normalmente su porcentaje de humedad está entre el 35 y 50%.

⁶² Ministerio de Fomento. *CTE SE-M: documento básico seguridad estructural, madera*. Madrid, 2009.

España. UNE-EN 13171-2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de fibra de madera (WF). Especificación. Aenor 2015.

⁶³ Información extraída de: *Nuevas técnicas en la fabricación de tableros aislantes de fibra de madera* [en línea]. Teruel: revista EcoHabitar, 2012 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en:

<http://www.ecohabitar.org/nuevas-tecnicas-en-la-fabricacion-de-tableros-aislantes-de-fibra-de-madera/>

En el **almacenado de las astillas** se emplean distintos tipos de depósitos de almacenamiento que en su mayor parte están dotados de mecanismos de alimentación y descarga de tipo continuo. Generalmente se utilizan silos grandes que ayudan a alimentar el proceso en forma continua.

A partir de aquí se diferencian los dos procesos de fabricación de estos tableros que existen en la actualidad; en húmedo y en seco.

■ Proceso de fabricación en seco

Una vez obtenidas las fibras, el siguiente paso es el **secado** en el que pasan a través de un cañón de secado compuesto por conductos por donde circula aire caliente a gran velocidad que arrastra las fibras en suspensión.

En la **elaboración de la pasta** por el procedimiento en seco se realiza dentro de un circuito cerrado, se les añade un 4% de resina PUR (poliuretano de un componente libre de formaldehído), como agente aglutinante entre las fibras.

Para dotar de propiedades ignífugas y antimoho a estos tableros, algunas empresas añaden fosfato de amonio y ácido bórico a la pasta⁶⁴.

El siguiente proceso es el **moldeado o afieltrado**. Consiste en vaciar la pasta en la máquina formadora -una calibradora y prensa de densidad-. A continuación, en la siguiente máquina el aglutinante se activa al inyectar una mezcla de vapor-aire a temperatura muy alta. La resina reacciona, consiguiendo la unión de las fibras, formando un tablero semirrígido, en grosores de hasta 240 mm de una sola capa. A diferencia del procedimiento húmedo, que solo produce tableros de 20 mm, -por lo que para obtener espesores superiores, se requiere juntar múltiplos de 20 mm hasta obtener el deseado-. A los tableros que se precisa impermeabilizar se les añade parafina.

Un sistema para medir constantemente la densidad de las láminas de fibras prensadas es mediante rayos gamma; o también puede pesarse la lámina moldeada en una báscula adecuada.

Para conseguir en el afieltrado por aire que los tableros tengan lisura suficiente, suelen emplearse uno o dos cabezales de afieltrado para extender las fibras bastas en la capa central del tablero y otros dos destinados a extender las fibras más finas que forman las capas exteriores. A veces se instala otro cabezal afieltrador para extender las fibras excepcionalmente finas con objeto de formar una superficie muy lisa en el lado superior del tablero.

Finalmente, los tableros se separan en línea, se mecanizan y se prepara su embalaje final. Los restos del producto se vuelven a colocar en el ciclo de producción⁶⁵.

⁶⁴ Steico. *Productos para una construcción sana con materiales renovables* [en línea] [s.l.]: Steico, 17 junio 2015 [consulta: 8 mayo 2016] Disponible en: <http://www.distribuciosostenible.com/productes-productos/>

⁶⁵ *Nuevo proceso: Fabricación en seco*. En: Biohaus [web]. Navarra: Biohaus, 2015 [consulta 8 mayo 2016]. Disponible en: http://www.biohaus.es/productos/gutex.php#tec_1

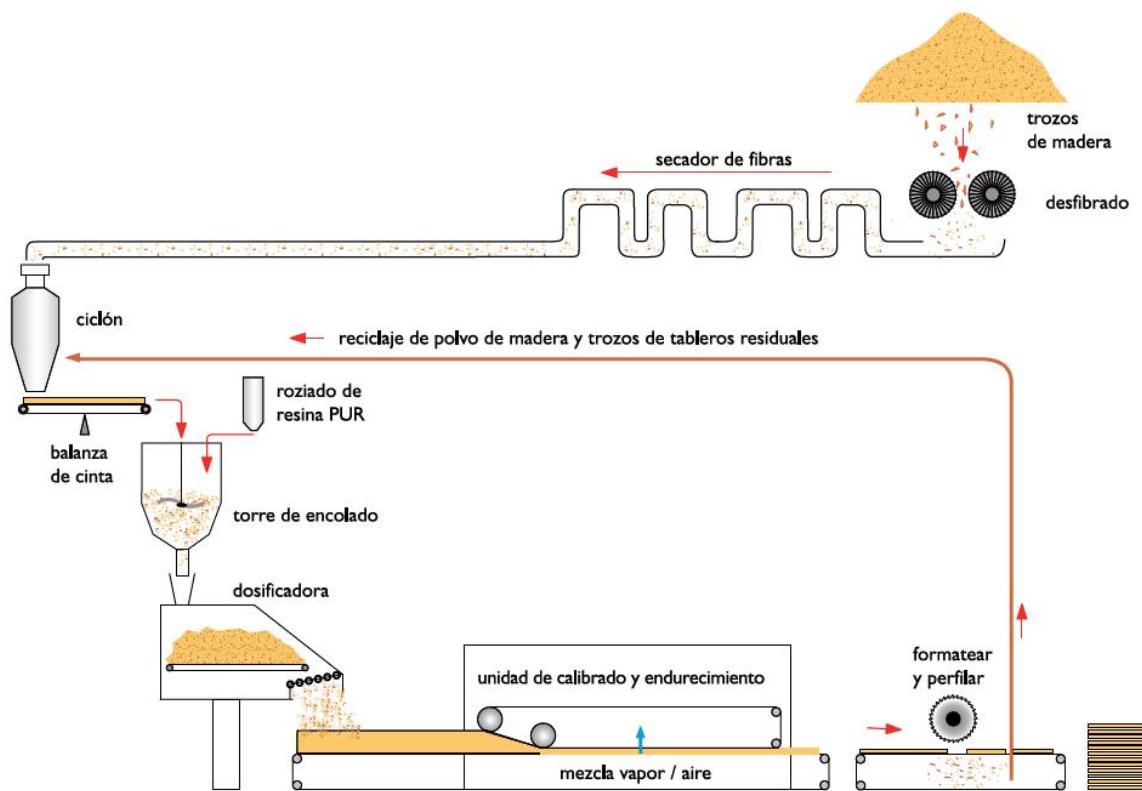


Ilustración 27 Proceso de fabricación del tablero de fibras de madera. Proceso en seco. Fuente: Gutex⁶⁶

■ Proceso de fabricación en húmedo⁶⁶

Después del desfibrado, se realiza el **cribado y lavado de las astillas**. Se seleccionan las partículas astilladas del tamaño adecuado por medio de la criba; y se lleva a cabo este proceso en conjunto con el lavado de los fragmentos se realiza en una lavadora compuesta por un recipiente con una escofina y una criba inclinada, esta lavadora elimina todos los residuos de cierto volumen, en tanto que el separador magnético sólo elimina las sustancias magnéticas. Además se logra que el contenido de humedad de la madera sea más uniforme.

Elaboración de la pasta; una vez que se mezcla las astillas con el agua se pueden añadir aditivos como parafina (agente hidrófugo) ó latex (agente de aumento de la resistencia) en caso de ser necesarios. La pasta obtenida (ilustración 28⁶⁷) es la que se utiliza para formar



Ilustración 28 Pasta para fabricación de paneles de fibra de madera. Fuente: Pavatex

⁶⁶ Gutex. *¿Qué es Gutex? Historia de la empresa, producción, características de nuestros productos*. Gutex, tableros aislantes de madera [correo electrónico]: Gutex [s.l.]

⁶⁷ Pasta para la fabricación de paneles de fibra de madera. En: Pavatex. *Aislar con Pavatex* [en línea] [S.l.]: Pavatex, 2009 [consulta: 5 mayo 2016] Disponible en: http://www.ecospai.com/fichas_tecnicas/pavatex_general.pdf

el tablero. Generalmente, algunas maderas dan pasta de baja calidad cuando se someten a tratamientos mecánicos o térmicos directos. En tales casos, el tratamiento con productos químicos como la soda cáustica fría o sulfito de sodio caliente aumentan considerablemente la concentración de la pasta e aportan cierta resistencia a la absorción del agua en el producto terminado.

En este proceso también se aplican los agentes hidrófobos e ignífugos para garantizar la durabilidad y protección contra el fuego del producto.

El siguiente proceso es el **prensado mecánico**. Consiste en vaciar la pasta en la máquina formadora de tableros. En ella se elimina aproximadamente el 50% del agua a través de aspiradores el vacío y cilindros prensadores.

Secado los tableros se secan en un túnel de secado, hasta que alcancen el nivel de humedad deseado.

En algunos casos, la unión de las fibras se realiza a través de la lignina de la madera, que a partir de los 180°C se vuelve semilíquida y actúa como aglutinante (ejemplo tableros de la empresa Pavatex).

El último proceso es el **recortado y perfilado** que es donde se le da al tablero las dimensiones apropiadas antes de salir al mercado. Este recortado se realiza con sierras circulares dispuestas longitudinalmente y transversalmente, para dar los cortes al tablero por todos sus cuatro lados en forma continua.

El polvo de serrín generado en los procesos de fresado y formatización se reintegra al ciclo de producción.

Debido a que el grosor máximo de ésta forma de producción es de 25 mm, los tableros de mayor grosor se obtienen mediante encolado de varias capas con cola blanca de caseína.

Para poner un ejemplo y poder ver los componentes de estos tableros, se reflejan a continuación los correspondientes a un tablero bajo-teja (Gutex Multiplex-top):⁶⁸

- Madera 89%
- Aditivos 11%:
 - Adhesivo para encolado de varias capas: cola blanca de caseína 4% (como se ha mencionado anteriormente, en algunas empresas, el aglutinante es la propia lignina de la madera)
 - Agente hidrófugo: parafina 2%
 - Agente de aumento de resistencia: látex 5%

⁶⁸ Gutex. *¿Qué es Gutex? Historia de la empresa, producción, características de nuestros productos*. Gutex, tableros aislantes de madera [correo electrónico]: Gutex [s.l.]

Madera

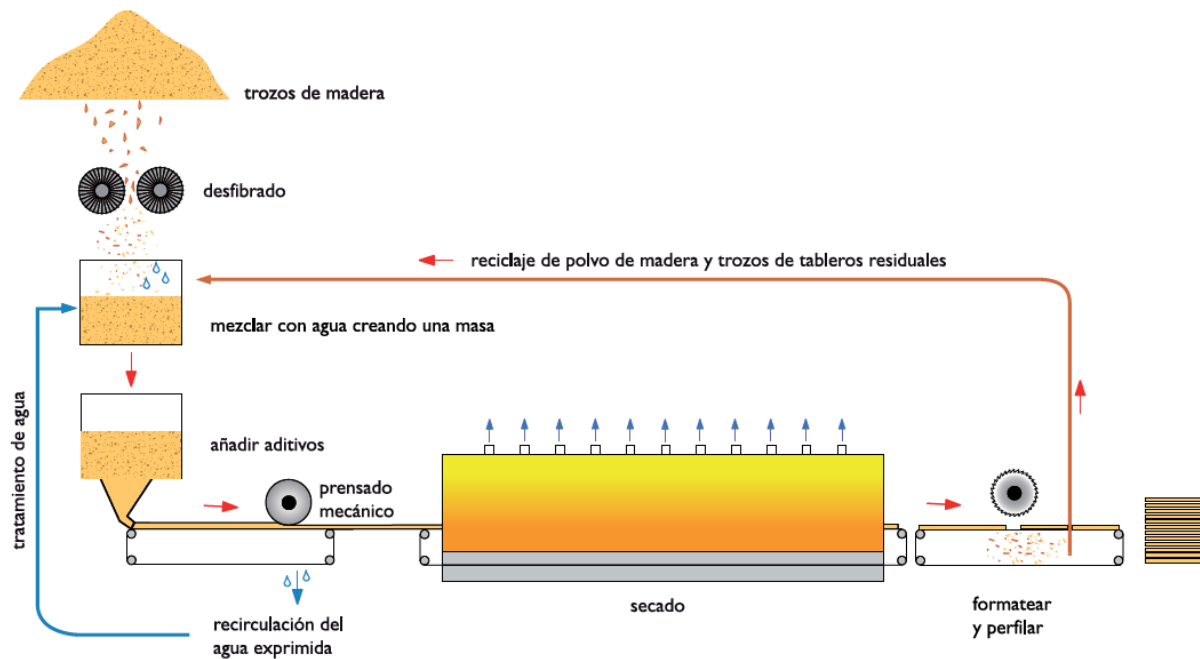


Ilustración 29 Proceso de fabricación en húmedo. Fuente: Gutex⁶⁸

Los productos manufacturados de fibra de madera se fabrican en forma de rollos, fieltros, láminas o placas y a granel.

En segundo lugar vamos tratar el aislamiento de lana de madera (WW). Su materia prima son finas astillas de madera que se enrosca o se dobla para formar una masa enmarañada. Las mechas son de un tamaño y espesores regulares y una longitud considerable, donde la relación entre la longitud y la anchura es $\geq 20:1$. La lana de madera está hecha de madera de coníferas y se presenta en balas prensadas. Su composición es de un 65% de fibras largas de abeto mezclado con un 35% de cemento, combinaciones de cemento y cal, magnesita y yeso⁶⁹, según la marca del fabricante. Al mezclarse las fibras naturales con aglomerantes minerales, se consigue paralizar el deterioro de la materia, aumenta la resistencia al fuego, se preservan las propiedades mecánicas a la vez que se consigue un producto inerte.

⁶⁹ España. UNE-EN 13168-2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana de madera (WW). Especificación. Aenor 2015.

Madera



Ilustración 30 Lana de madera. Fuente: construnario⁷⁰

A continuación se presentan las etapas de la producción de tableros de lana de madera:

Almacenamiento y preparación de la materia prima. La materia prima para este proceso debe tener un contenido de humedad del 20 al 30% en el momento de la fabricación de la lana de madera, para lo cual hace falta almacenar grandes cantidades de madera. Por consiguiente el apiladero es una importante parte de la fábrica y exige una planificación y disposición cuidadosas para que los gastos de manipulación y las pérdidas por almacenamiento no sean altos.

Antes de hacer la lana de madera se deben cortar las piezas o troncos a una longitud de 40 a 50 cm; pudiendo utilizarse sierras circulares corrientes o de cinta.

Producción de la lana de madera. La lana de madera está constituida por hebras delgadas, enroscadas o ensortijadas. Las hebras que se utilizan suelen tener de 4 a 5 mm de ancho y un espesor de 0,2 mm. Las máquinas que se emplean, funcionan como cepilladoras de movimiento alternado.

Mezclado. El mezclado de las hebras de lana de madera con aglutinantes y otros productos químicos se lleva a cabo en dos etapas.

Primera, cuando se utiliza cemento Portland como aglomerante, la lana de madera se debe sumergir antes en una solución de cloruro de calcio o de magnesio, eliminando después el exceso de solución, y segunda, se lleva la lana de madera a un mezclador en donde se añade el cemento.

Moldeo. El proceso de moldeo de los tableros se realiza en moldes que se componen de bastidores con una platina de base y una de cubierta. Los moldes tienen bastidores especiales para cada espesor de tablero y presentan una altura aproximadamente tres veces mayor que la del tablero acabado.

Antes de llenar cada molde con la lana de madera mezclada con el cemento y las sustancias químicas, debe procederse al lubricado del molde con un aceite especial para evitar que se adhiera el tablero a las paredes del mismo.

⁷⁰ [Tablero de lana de madera] En: Construnario [web] España: Construnario [Consulta 23 mayo del 2016]
Disponible en: http://www.construnario.com/notiweb/noticias_imagenes/39000/39846_1.jpg

Prensado. En esta etapa, los moldes de los tableros se someten a presión en prensas hidráulicas. Las prensas utilizadas reúnen pilas de moldes de hasta 40 planchas, estas pilas se presan en frío sometiéndose a presión durante 15 a 25 horas para que fragüen, después de lo cual los moldes se retiran, se limpian y vuelven a entrar en el circuito.

Después del prensado, las planchas se secan a la temperatura ambiente o bien en instalaciones análogas a los hornos de secado para madera. Las temperaturas de secado no deben sobrepasar los 50°C.

Cortado y acondicionamiento. Después que los tableros hayan fraguado, se recortan para eliminar defectos en los bordes.

Finalmente, es importante hablar de un producto derivado de la madera con función aislante que se está estudiando actualmente; la espuma de madera (ilustración 31⁷¹).



Ilustración 31 Espuma de madera. Fuente:
ecosectores.com

Las investigaciones se están llevando a cabo por un equipo de científicos del Instituto Fraunhofer con sede en Braunschweig (Alemania). Están desarrollando un nuevo material aislante natural para edificios, la espuma de partículas de madera.

Este nuevo material se produce triturando la madera muy fina hasta que las partículas diminutas se convierten en una masa viscosa. Luego añaden gas para expandirlo en una espuma que a continuación se endurece. El proceso de endurecimiento es ayudado

por sustancias naturales contenidos en la propia madera.

⁷¹ Espuma de madera. En: ecosectores [web] [s.l.]: Ecosectores, 2014 [consulta 8 mayo 2016]. Disponible en: [https://ecosectores.com/Portals/0/Articulos/Imagenes/rn03_2014_3_g%20\(400x315\).jpg](https://ecosectores.com/Portals/0/Articulos/Imagenes/rn03_2014_3_g%20(400x315).jpg) en <https://ecosectores.com/DetalleArticulo/tabid/64/ArticleId/1409/Espuma-de-madera-un-aislante-eficiente-y-amigable-con-el-medio-ambiente.aspx>

3.9.3 Impacto medioambiental

Los paneles de fibras y lana de madera suelen aprovechar residuos del procesamiento de la madera o pequeñas ramas, por lo que serían compatibles con un aprovechamiento respetuoso del bosque. A pesar de esto, debemos tener en consideración que los fabricantes de estos productos posean certificaciones como FSC o PEFC. Estas etiquetas garantizan que las maderas utilizadas proceden de bosques explotados con una preocupación por el desarrollo sostenible y el respeto por la naturaleza y el ecosistema.

Por otro lado, debemos tener en cuenta tres factores importantes a la hora de analizar el impacto medioambiental:

- Composición: algunos de los paneles están compuestos por un 4% de PUR, aunque en algunos artículos además de una de las empresas fabricantes⁷² de estos productos hablan que la reacción con oxígeno y vapor a altas temperaturas, en el proceso de fabricación, se produce un cambio de estructura molecular, de tal forma que en el producto final no aparecen las sustancias del PUR y mucho menos isocianatos (componente primario del poliuretano antes de reaccionar).

Existe un organismo independiente llamado Natureplus (sello alemán que garantiza los efectos de la salud de los materiales de construcción) que ha certificado que no quedan restos de la resina PUR. Aunque recientemente ha existido cierta polémica por la aceptación de este organismo del formaldehído.

- Energía y CO₂: estos factores se elevan en el proceso de fabricación y en el transporte, debido fundamentalmente a que en España, por ejemplo, aun no hay fábricas de este tipo de aislamiento; éstas se encuentran en países como Alemania, Polonia o Francia.

Es muy importante reseñar que la Federación Internacional de Trabajadores de las Industrias Metalúrgicas (FITIM) calificó el polvo de madera como sustancia carcinógena. Su exposición a este producto puede producir cáncer de pulmón o cáncer nasal y de nasofaringe⁷³. Por lo que si hay riesgo a la exposición de esta sustancia, se deben tomar las medidas de prevención adecuadas; siendo lo más aconsejable evitar dicha exposición.

⁷² NATKE, STEFAN. Nuevas técnicas en la fabricación de tableros aislantes de fibra de madera. *Revista EcoHabitat*. Teruel 2011, nº29. ISSN 1697-9583

⁷³ Federación Internacional de Trabajadores de las Industrias Metalúrgicas (FITIM). *Cáncer profesional / cáncer cero. Guía sindical para la prevención*. Ginebra: Tabergs Tryckeri AB, 2007 [consulta: 25 mayo 2016] Disponible en: <http://www.bwint.org/pdfs/CancerCeroSp.pdf>

	COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2	
	MJ/kg	KWh	kgCO2/kg
ITeC	x	x	x
FIVE	20-25	x	x
Libro ⁷⁴	x	0,492	x

Tabla 33 Coste energético fabricación del aislante de fibras de madera

3.9.4 Valorización

Los tableros aislantes de madera, una vez finalizada su vida útil, se pueden volver a procesar para volver a obtener nuevos aislantes y reutilizarlos. En caso contrario, la mayoría se deberían llevar a un vertedero controlado, ya que contienen en su composición colas y aglutinante PUR, parafina o sales de bórax (Homatherm emplea amonopolifosfato para proteger sus productos contra el fuego y la empresa Steico garantiza la ausencia de sales de bórax en sus productos) entre otros.

3.9.5 Propiedades

Para el aislante de fibras de madera:

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE		
				12524	10456	13171
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,038-0,040	x	x	x	0,0366-0,0421
Panel rígido		x	x	x	x	x
Panel flexible		x	x	x	x	x
Densidad	kg/m3	50-160	x	150-250	40-250	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1400	2000	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1-10	x	5-10	3-5	x
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	x	x
Precios	€/m2	<40	14-20	x	x	x

Tabla 34 Propiedades del aislante de fibras de madera. Precios

⁷⁴ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

Madera

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	BIBLIOGRAFÍA	
		Pastor, 2012	EcoHabitat
Coefficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,0366-0,050	0,037-0,046
Panel rígido		x	x
Panel flexible		x	x
Densidad	kg/m3	140-350	160
Calor específico (Cp)	J/kg.k	2100	2100
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	3-5	5(sd=0,5cm)
Dilatación térmica	m3	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	E	B2

Tabla 35 Propiedades del aislante de fibras de madera

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS			
		GUTEX	STEICO	PAVATEX	HOFATEX
Coefficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k				
Panel rígido		0,042-0,050	0,044-0,070	0,043-0,047	0,040-0,050
Panel flexible		0,037-0,042	0,038-0,042	0,038-0,040	0,035-0,042
Granel		0,039	0,038	x	x
Densidad	kg/m3				
Panel rígido		160-260	>230	170-240	180-260
Panel flexible		45-160	30-170	40-140	20-160
Granel		35	x	x	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	x	x
Panel rígido		2100	2100	2100	2100
Panel flexible		2100	2100	2100	2100
Granel		2100	2100	x	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	x	x	x	x
Panel rígido		3-5	5	5	5
Panel flexible		3	2	2	5
Granel		1-2	2	x	x
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	B2	E	E	E
Precios	€/m2	12-19	12-25	10-25	x

Tabla 36 Propiedades del aislante de fibras de madera según fabricantes. Precios

PROPIEDADES MECÁNICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 13171	BIBLIOGRAFÍA Pastor, 2012	EMPRESAS GUTEX
Resistencia a compresión	kPa	x	x	10-500	100-200	100-200
Resistencia a tracción	kPa	x	x	10-100	10-70	x

Tabla 37 Propiedades mecánicas del aislamiento de fibras de madera

Madera

Para el aislante de lana de madera:

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 10456	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitat
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	x	x	x	x	0,050
Densidad	kg/m ³	x	x	250-450	x	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1470	x	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	x	x	3-5	x	x
Dilatación térmica	m ³	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	x	x

Tabla 38 Propiedades del aislante de lana de madera

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS GUTEX
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,040
Densidad	kg/m ³	110-260
Calor específico (Cp)	J/kg.k	2100
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	3-5
Dilatación térmica	m ³	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x
Reacción al fuego	Euroclases	B2

Tabla 39 Propiedades del aislante de lana de madera según empresa Gutex

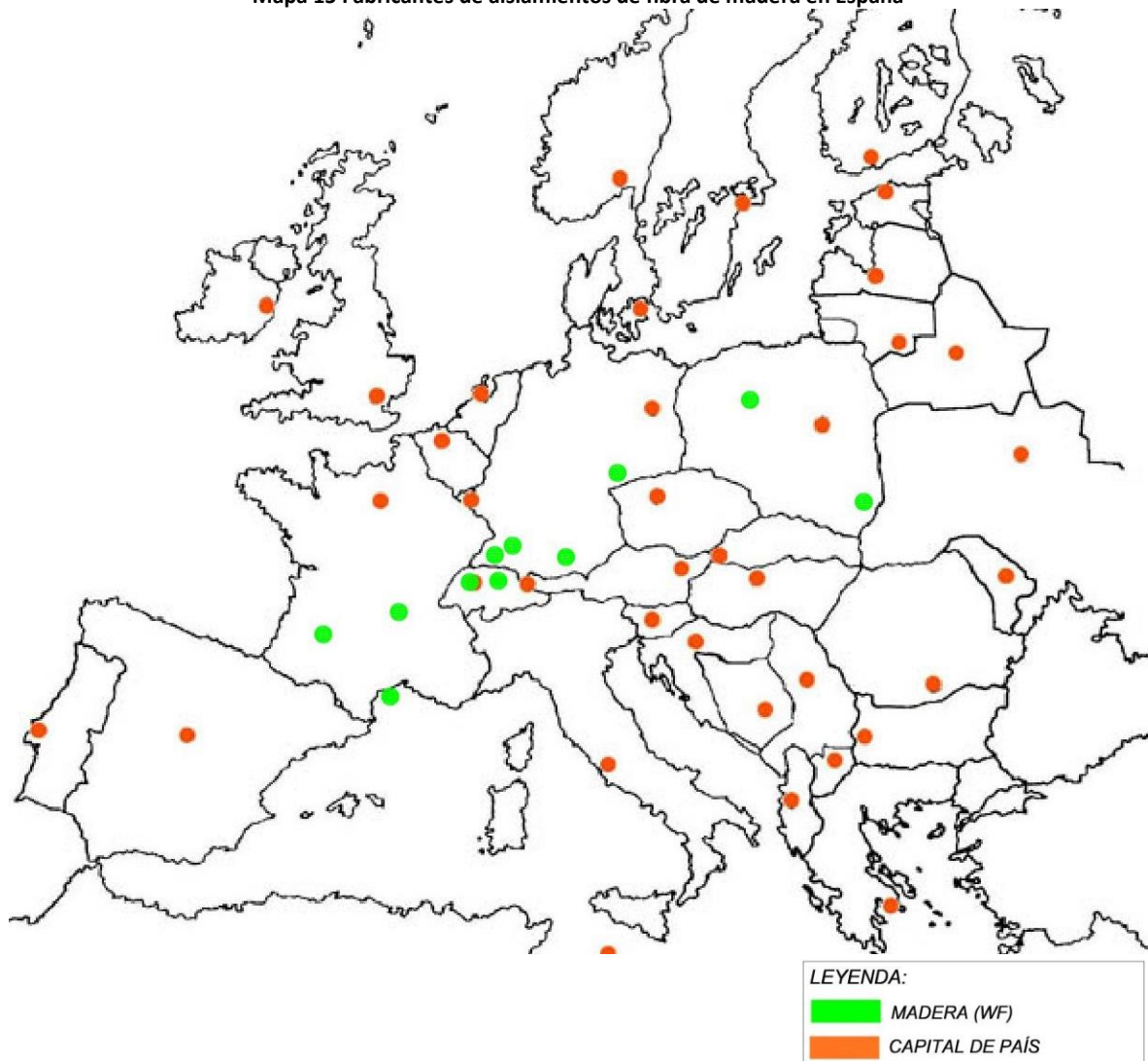
3.9.6 Fabricantes

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Madera	Pavatex	Suiza	Fribourg	Rte de la Pisciculture 37 CH-1701 Tel.: +41 (0)26 426 31 11
		Suiza	Cham	Knonaerstrasse CH-6330 Tel.: +41 (0)26 426 35 00
	GUTEX	Alemania	Waldshut-Tiengen	H. Henselmann GmbH + Co KG;Gutenberg 5;D-79761
	Steico	Alemania	Múnich	Feldkirchen
		Francia		Casteljaloux (fábrica)
		Polonia		Czarnków y Czarna Woda (fábricas)
	Homatherm	Alemania	Berga	Ahornweg 1, 06536 Tel.: +49 34651 4160
	Hofatex	Alemania	Lettenweg	Magyarország 8600 Siófok Honvéd u. 1/C www.hofatex.hu
	Fibris przemysl (Sotextho)	Polonia		37-700 Przemysl, ul. Ofiar Katynia 17 – Tel.: +48 16 675 96 00

Tabla 40 Fabricantes aislantes de madera en Europa



Mapa 15 Fabricantes de aislamientos de fibra de madera en España



Mapa 16 Fabricantes de aislamientos de fibra de madera en Europa

3.10. Paja

3.10.1 Naturaleza y composición

La aparición de las casas construidas con fardos de paja está directamente relacionada, como es natural, con la invención de la máquina embaladora. Una y otra tuvieron lugar en Estados Unidos a finales del siglo XIX. En aquella época, los colonos se vieron obligados a construir refugios “temporales”, dado que el material más tradicional para la construcción de casas (madera, piedra) no podía encontrarse con facilidad en las regiones interiores. Para su sorpresa, se dieron cuenta de que los fardos de paja constituían un material muy aislante, fácil de trabajar y barato. Así se explica el registro documentado de más de 70 casas entre 1915 y 1940 construidas con dicho material.



Ilustración 32 Simonton House, Nebraska 1908. Fuente: construccionbalasdepajauax⁷⁵

En Europa, la primera casa de fardos de paja data de 1921 y se encuentra en Montargis (Francia). Sigue siendo habitable, así como otra docena de edificios construidos en la misma época y cuyo buen estado permite su continuada utilización. En las imágenes que siguen a estas líneas, podemos apreciar el estado de la casa cuando fue construida (arriba) y en la actualidad (abajo).

⁷⁵ Simonton House, Nebras 1908. En: Construcción con balas de paja [web] España: Marta Revuelta, 2015 [Consulta 12 mayo del 2016] Disponible en: <https://construccionbalasdepajauax.files.wordpress.com/2015/02/simonton-house-nebraska-1908.jpg?w=676> en <https://construccionbalasdepajauax.wordpress.com/2015/07/07/un-poco-de-historia/>



Ilustración 33 "Maison Feuillette" construida en 1921. Fuente: construccionbalasdepaja⁷⁶

Este tipo de construcción cayó en desuso tras la Segunda Guerra Mundial, aunque el "renacimiento" de la construcción con fardos de paja empezó en 1973 con un artículo sobre el tema escrito por Roger Welsch para el libro "Cobijos". Fue la inspiración para una nueva generación de casas de Fardos de paja. En los siguientes años, muchas personas en los EE.UU. comenzaron a re-experimentar con este material.

Como paja se considera el tallo seco de los cereales (trigo, centeno, cebada, avena, mijo) o de plantas fibrosas (lino, cáñamo, arroz). Es una planta que mediante la fotosíntesis de la energía solar, toma agua y minerales de la tierra. Se compone de celulosa, lignina y tierra silíceas y muestra un exterior ceroso e impermeable.

⁷⁶ "Maison Feuillette" construida en 1921. En: Construcción con balas de paja [web] España: Marta Revuelta, 2015 [Consulta 12 mayo del 2016] Disponible en: https://construccionbalasdepajauax.files.wordpress.com/2015/02/maisonfeuillette_1921.jpg?w=300&h=208 en <https://construccionbalasdepajauax.wordpress.com/2015/07/07/un-poco-de-historia/>

3.10.2 Proceso de fabricación

Para la fabricación de fardos de paja para la construcción de viviendas, se recomiendan, fundamentalmente, la paja de trigo, escanda, arroz y centeno. Los fardos de paja se hacen en variados formatos: los más pequeños tienen medidas que van de los 32cm a 35cm x 50cm x 50 a 120 cm, si bien el ancho de 50 cm puede ser algo menor. En la producción se emplean enfardadoras que desarrollan una presión de entre 80 y 120 kg/m³; los fardos hechos con menores presiones no son aptos para su uso en la construcción.

El ancho y la altura de la sección transversal de los fardos son el resultado de la sección transversal del canal de la prensa. Colocando elementos en el canal de la prensa, se puede reducir algo la sección transversal del fardo. El largo de los fardos usualmente es de 80 a 90 cm. Como regla está entre los 50 cm y los 100 cm llegando a veces a los 120 cm, con saltos de 10 cm ajustables. De esta manera la prensa produce capas individuales de paja, en porciones de 10 cm de espesor, las que se aprietan entre si y se mantienen unidas con dos cuerdas.

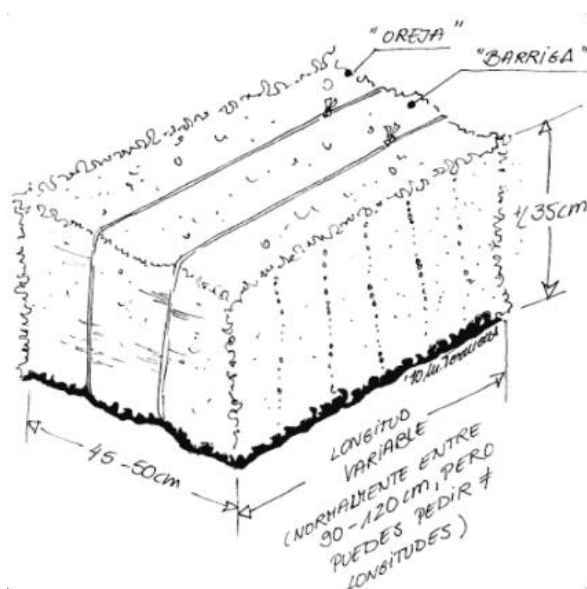


Ilustración 34 Dimensiones de un fardo de paja. Fuente: casas de paja⁷⁷

Los fardos medianos, con medidas de 50 cm x 80 cm x 70 cm a 240 cm y los grandes, con medidas de 70 cm x 120 cm x 100 cm a 300 cm o aún mayores, son usados por lo general sólo para la construcción de muros portantes, ya que generan anchos de pared mayores y, a causa d su mayor peso, sólo pueden ser movidos con autoelevadores. La presión de enfardado va de los 180 a 200 kg/m³.

⁷⁷ Dimensiones de un fardo de paja. En: Casas de paja [web] [s.l.]: Casas de paja, 2015 [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.casasdepaja.org/images/wiki/bala.png> en <http://www.casasdepaja.org/wiki/aspectos-tecnicos/item/213-la-alpaca-de-paja>

Paja

Debemos tener en cuenta que los fardos de paja frescos de una misma cosecha presentan frecuentemente una humedad diferente, según la hora de corte dado que por la mañana está más húmeda que por la tarde. Para emplear el material como elemento de construcción, la humedad debe estar por debajo del 15%.

Además puede acontecer que la densidad y la forma prismática del fardo varíen: a mayor velocidad de cosecha, menos exacta la forma de los cantos. También es perjudicial para la calidad de los fardos las hierbas, éstas se deben evitar ya que comprimen menos y se pudren más rápido.

Las cuerdas es preferible que sean de origen vegetal (cáñamo, sisal), aunque hay autores que recomiendan los flejes de polipropileno.

Para obtener buenos resultados respecto al aislamiento térmico las fibras de paja se deben disponer de forma transversal el flujo del calor.

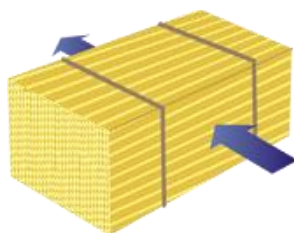


Ilustración 35 Disposición de las balas de paja. Fuente: waldland⁷⁸

Los fardos de paja compactados a 90 kg/m^3 ofrecen suficiente resistencia a que los ratones aniden en ellos. Esto puede ser posible si entre los fardos quedan fugas que no sean rellenadas. Si el lado exterior no se revoca, y se coloca en su lugar un entablonado de madera exterior con cámara de aire, entonces si es factible que esto ocurra, como pasaría con cualquier otro sistema constructivo donde haya una cámara de aire. Aunque hasta la actualidad no hay evidencias de que esto haya pasado.

La paja tampoco es el alimento predilecto de las termitas. Algunos tipos pueden digerirla, pero prefieren como alimento la madera.

Aunque para prevenir estos factores se puede realizar una mineralización previa que elimine las proteínas existentes en la materia. Esta tarea puede realizarse sumergiendo la paja en una disolución de agua con un 5% de cal.

Con respecto al moho, edificaciones de este tipo construidas con paja seca no debería reproducirse el moho. Es muy importante tener en cuenta que para una adecuada ejecución, los fardos estén secos, lo cual quiere decir que no deben contener, como se ha dicho, más del 15% de humedad, y esto se puede lograr poniendo una barrera de vapor interior, que pare la humedad

⁷⁸ Disposición correcta de las balas de paja para aislamiento térmico. En: Waldlang [web] Austria: Waldlang [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: http://www.waldland.at/en/waldviertler_flachshaus/straw_insulation/contentimages/28/346.png en http://www.waldland.at/en/waldviertler_flachshaus/straw_insulation/

ambiente o con una superficie exterior que lo deje pasar para que así la posible condensación que pueda quedar en la superficie del fardo pueda salir rápidamente.

Además el revoque debe secar rápidamente, para que la paja que se moja en el proceso pierda el agua lo más pronto posible, por lo que debe aplicarse en capas finas –esto reduce además las fisuraciones por retracción-. Si la masa del revoque contiene mucha materia orgánica como serrín o paja cortada, y el proceso de secado es lento, podrá formarse moho en la superficie. Por ello, deberá tenerse en cuenta, en especial en revoques muy gruesos, que las primeras capas estén secas antes de aplicar el revoque de terminación y que, para este último, no es recomendable usar materia orgánica (usar sólo tierra y arena, por ejemplo).

Finalmente, los fardos de paja deben almacenarse en un lugar seco, donde no exista contacto con la humedad del suelo y estén protegidos de la lluvia.

Por otro lado, podemos emplear la paja como aislamiento térmico adicional en estructuras existentes. Los fardos deben estar sujetos a la estructura y protegidos de la condensación mediante una barrera de vapor. En caso del aislamiento de suelos debemos evitar que la humedad que viene de arriba y abajo llegue a los fardos; teniendo como único inconveniente la pérdida de altura interior

Actualmente en el mercado, existen muchos productos y sistemas para la construcción con balas de paja. Un ejemplo de un sistema es el denominado “paja a la cal” (Ismael Caballero) que se trata de un método en el cual se sumergen las alpacas de paja en una bañera, excavada en la tierra a pie de obra, en un baño de cal viva y en fresco se colocan en la pared. Finalmente el muro se funde en un solo bloque cuando la cal se seca, unida por el mortero que luce las paredes por dentro y por fuera. Así es seguro que no entrarán ratones ni bichos y se pueden construir varios pisos sin estructuras añadidas.

Como ejemplo de producto están los módulos prefabricados. El modo de fabricación de estos módulos también es un punto de bifurcación entre las alternativas existentes en el mercado. Hay fabricantes que deciden formar los módulos con balas de paja, otros usan paja suelta prensándola mediante unas matrices consiguiendo unos módulos continuos que facilitan la producción de módulos de cualquier altura. También tenemos la opción de no solo tener nuestros cerramientos prefabricados en taller, sino también prerevocados. Esta alternativa tiene pros y contras, ya que el tiempo que puede que nos ahorre revocar en obra, puede que lo invirtamos en reparar las grietas o desperfectos provocados por el transporte de estos módulos prerevocados, además de la complicación del peso añadido, que implicará una mayor dificultad en la manipulación de estos módulos y tener que recurrir a maquinaria auxiliar para su puesta en obra. Entre estos productos podemos nombrar:

Paja

Alfawall sistema modular para muros, basado en estructuras de madera (pino C24⁷⁹) de listones que contienen las balas prensadas con una densidad mínima de 120 kg / m³ y una humedad relativa <15%, ubicada dentro de la estructura de madera.



Ilustración 36 Construcción de una casa con el sistema Alfawall. Fuente: Okambuva⁸⁰

BalaBox sistema formado por paja prensada a 130kg/m² que le dota de un gran aislamiento y madera de abeto tipo C24 y tablero OSB. La bala se introduce con una prensa en el cajón a gran presión para así mejorar sus prestaciones estructurales y de aislamiento.



Ilustración 37 Bloque BalaBox. Fuente: bala-box⁸¹

ModCell sistema que consiste en paneles formados por armazones de madera rellenos de balas de paja que luego serán cubiertos con morteros de cal. Los tamaños de estos paneles pueden variar para adaptarse a los requerimientos del proyecto. El más común es el de 3 m de alto x 3,2 m de ancho y 490 mm de espesor.⁸²

⁷⁹ Clase resistente de la madera de coníferas

⁸⁰ Okambuva.coop. Construcción de una casa con el sistema Alfawall. Valencia: Okambuva coop. Bioconstrucción, 2015. Jornadas Bioconstrucción A Coruña, 09 de 2015.

⁸¹ Bloque Bala-box. En: Bala-box [web] Madrid: Bala-box, 2015 [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: http://bala-box.com/wp-content/uploads/DSC_2846-e1407258043287-300x221.jpg en <http://bala-box.com/los-bloques/>

⁸² EcoHabitar. Bioconstrucción. Paneles de balas de paja prefabricados para la construcción. *EcoHabitar*. Teruel 2011, nº31, pág. 10 ISSN 1697-9583

Paja

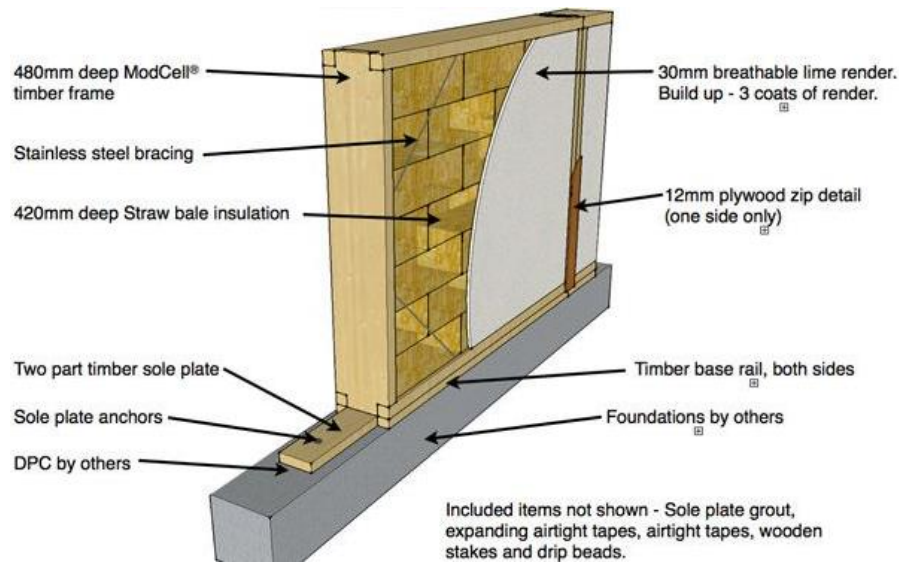


Ilustración 38 Sistema ModCell. Fuente: Modcell⁸³

Finalmente, también se emplea en construcción la paja a granel. Generalmente se utiliza en la mezcla con tierra en técnicas como cob o en enfoscados; donde se combinan las propiedades de aislamiento de la paja con la inercia térmica de la tierra.

3.10.3 Impacto medioambiental

La paja es un material que la naturaleza produce anualmente y se encuentra disponible en muchas partes. Al finalizar su uso, se puede devolver a la biosfera.

Cada año se queman en el planeta millones de toneladas de desecho de paja. La construcción con fardos de paja podría ser útil para controlar el deterioro atmosférico y el calentamiento del globo. Una gran reducción de la cantidad de paja quemada recortaría la producción de monóxido de carbono y óxido nítrico en muchos miles de toneladas al año. La paja de desecho podría ser embalada y usada en edificios. Se produciría un descenso significativo en la devastación de áreas de madera de construcción si se construyesen casas de fardos de paja.

Con respecto a los módulos prefabricados, podemos encontrar módulos de gran formato o módulos del tamaño de una sola bala. Cuestión tiene sus pros y contras. Los módulos grandes nos permiten ejecutar el cerramiento del muro rápidamente y con menor tornillería de montaje, pero nos supondrá un sobre coste por la maquinaria necesaria para su manipulación (emisiones de CO₂), sobre coste que no tenemos con módulos pequeños de una bala. Por contraposición, los módulos pequeños conllevan una cantidad extra de madera, mayores puentes térmicos, dificultades estructurales y el uso de un recurso natural escaso, dato muy a tener en cuenta en nuestras latitudes

⁸³ Sistema ModCell. En: ModCell [web] Bristol: ModCell, 2015 [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: http://www.modcell.com/files/cache/3f6cec8831f3ad40d46abc1d91ebb964_f967.jpg en <http://www.modcell.com/technical/>

si queremos respetar las directrices de una construcción sostenible. Debemos, por tanto, analizar todos los factores al llevar a cabo nuestra obra; tanto constructivos como medioambientales.

Durante la construcción de una casa de fardos pueden producirse reacciones alérgicas al polvo, por lo tanto, se recomienda usar mascarilla.

- Composición: la paja es un material natural que se obtiene de cereales como el trigo, el arroz o la cebada.
- Energía y CO₂: para la producción de fardos de paja y el transporte de los mismos a la obra, se necesita menos energía que para la producción de otros elementos constructivos; teniendo en cuenta, además, que generaremos mucho menos impacto si la materia prima la obtenemos de negocios o agricultores locales.

También se puede decir que, por la incorporación química del CO₂ durante el proceso de fotosíntesis, se hace un aporte favorable al medio ambiente.⁸⁴

			COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2
			MJ/m3	kgCO2/kg
ITeC			x	x
FIVE			x	x
ALFAWALL	Consumo total agua	30,4 l	490	x
Libro ⁸⁴			14	x

Tabla 41 Coste energético de la fabricación de balas de paja

3.10.4 Valorización

La eliminación de la paja no crea problemas, los sobrantes de una obra pueden utilizarse, por ejemplo, como cama en los establos, alimento suplementario del ganado en invierno, como abono en el jardín, o para airear el suelo de los cultivos (empleada de esta forma en agricultura ecológica, ya que se descompone lentamente debido a su alto contenido en silicatos).

⁸⁴ MINKE, Gernot, MAHLKE, Friedemann. *Manual de construcción con fardos de paja*. Editorial Fin de Siglo. ISBN 9974-49-361-7

3.10.5 Propiedades

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	BIBLIOGRAFÍA			
		Pastor, 2012	ARPE*		Gernot Minke
			Dirección de las fibras	Transversal a las fibras	
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,045-0,130	0,070	0,045	0,0337-0,086
Densidad	kg/m ³	80-600	100	100	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	1700	1700	2000
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)		1-10	1-2	1-2	x
Dilatación térmica	m ³	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	x
Transmitancia térmica	W/m ² k	x	x	x	0,12
Reacción al fuego	Euroclases	x	B	B	B2

Tabla 42 Propiedades del aislamiento de balas de paja

ARPE - Agencia Regional para el Desarrollo Sostenible (Francia)

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS	
		ALFAWALL	BalaBox
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,067	0,050
Densidad	kg/m ³	120	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	3-6	x
Sd	m	6-2	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x
Transmitancia térmica	W/m ² k	0,166	0,15
Reacción al fuego	Euroclases	x	x

Tabla 43 Propiedades del aislamiento con balas de paja según dos fabricantes

Con respecto al precio de este material, la alpaca de cereal tiene un coste de entre 1 a 1,30€. Pero también debemos considerar que en los sistemas prefabricados de los que se ha hablado se emplea madera. Por tanto, el precio aproximado de los sistemas antes expuestos es según la empresa BalaBox:

➔ Según tamaño:

- Bloque Bala-Box 90cm - 24€/ud.
- Bloque Bala-Box 55cm - 15€/ud.
- Bloque Bala-Box 35cm - 10€/ud.

3.10.6 Fabricantes

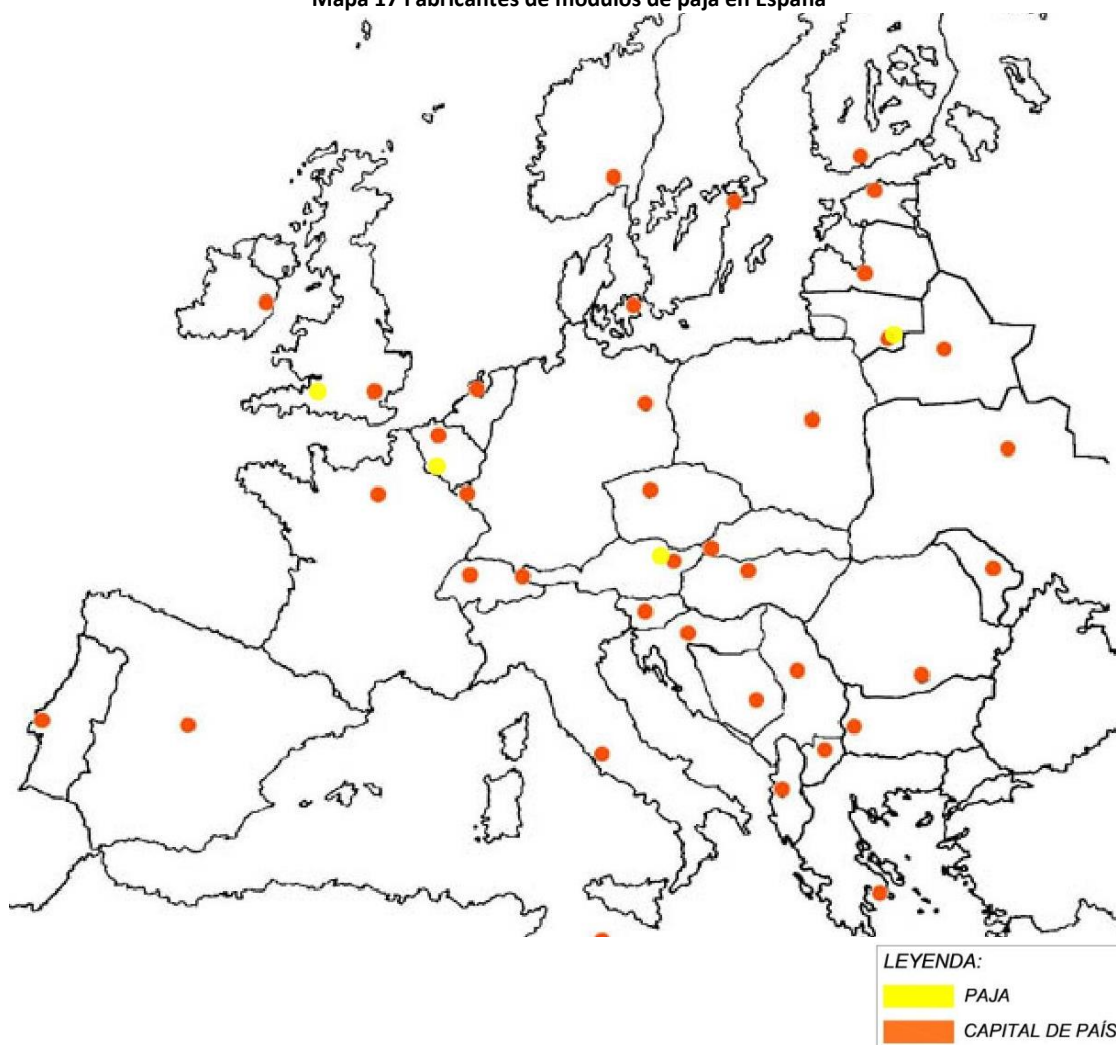
En este caso, se reflejan fabricantes de módulos de paja prefabricados:

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Paja	Okambuva (Alfawall)	España	Valencia	http://casadepaja.es/
	Econ	España	Madrid	http://www.econcorp.es/ econ@econhouse.es
	Bala Box	España	Madrid	http://www.bala-box.com/ info@bala-box.com
	Ecococon	Lituania	Vilnius	http://www.ecococon.lt/spanish/paneles-de-paja/
	ModCell	Inglaterra	Bristol	http://www.modcell.com/
	Kreativer Holzbau	Austria	Zwetti	http://www.kreativerholzbau.at
	Paille-Tech	Bélgica	Franière	http://www.pailletech.be/
	Flexagon	Francia		http://www.habitatvegetal.com/fr/tom-rijven t.rijven@gmail.com contact@flexagone.com

Tabla 44 Fabricantes de estructuras con aislamiento de balas de paja en España y Europa



Mapa 17 Fabricantes de módulos de paja en España



Mapa 18 Fabricantes de módulos de paja en Europa

3.11. Arcilla expandida

3.11.1 Naturaleza y composición

Aunque la utilización de áridos se remonta a la Antigüedad, habría que esperar hasta el s.XX para que Stephen J. Hayde, contratista y fabricante de ladrillos de Kansas City (Estados Unidos), aplicara un proceso industrial a la producción de árido ligero manufacturado fue la fabricación de cascos de barco de hormigón armado. Las propiedades aislantes de estos áridos no se empezaron a aprovechar hasta 1923, año en que vio la luz el primer bloque de hormigón ligero.

Geológicamente la arcilla es una roca sedimentaria impermeable de estructura pulverulenta. La resistencia que le confiere el proceso de secado y cocción posterior a la mezcla con agua, han hecho de ésta un material empleado en todos los tiempos para la fabricación de piezas cerámicas: tejas, ladrillos, revestimientos, vajillas, lozas, etc.

La arcilla expandida es un material granular ligero con estructura interna alveolar (ilustración 39⁸⁵). Como arcilla que se compone fundamentalmente de óxido de silicio y de alúmina u óxido de aluminio. En la siguiente tabla se pueden ver sus componentes:



Ilustración 39 Arcilla expandida. Fuente: wikipedia

Componentes	%
Al_2O_3	18
SiO_2	64
Fe_2O_3	6,5
TiO_2	0,9
MgO	2,5
CaO	2,0
K_2O	3,5
Na_2O	0,7

Tabla 45 Componentes químicos de la arcilla expandida. Fuente: propia

⁸⁵ Arcilla expandida. En: Wikipedia, la enciclopedia libre [en línea] actualización 13 junio 2015 [consulta: 19 mayo 2016]. Disponible en: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f5/Hydroton.jpg/300px-Hydroton.jpg> en <https://es.wikipedia.org/wiki/Arlita>

Arcilla expandida



Ilustración 40 Estructura celular de la arcilla expandida. Fuente: futura-sciences⁸⁶

3.11.2 Proceso de fabricación⁸⁷

La arcilla se extrae de canteras a cielo abierto. La extracción se realiza mediante excavación con maquinaria convencional de movimiento de tierras.

Entre los diferentes tipos de arcilla que existen encontramos una de tipo fuerte que se expande a los 800 °C, contrariamente a la utilizada en cerámica, muy inerte y arenosa. De esta arcilla se elabora un material que la industria de nuestro tiempo ha transformado en un árido ligero con propiedades de aislamiento gracias a una estructura altamente porosa. Su fabricación pasa por diversos procesos:

- La arcilla excavada se deja al aire libre durante varios meses. El calor, el frío, la lluvia y las heladas hacen una primera “transformación” del producto.
- Trituración la arcilla se somete a un primer proceso de trituración hasta alcanzar una granulometría de 5-15 cm. Seguido de una homogeneización hasta convertirla en polvo.
- Granulado se introduce la arcilla en un plato granulador donde con adicción de agua y por efecto de la fuerza centrífuga se granula la arcilla en forma de pequeñas esferas y, jugando con diversas variables tales como el ángulo de inclinación del plato o el flujo del agua se consigue variar el tamaño de las bolas de arcilla.

⁸⁶ Estructura celular de la arcilla expandida. En: futura-sciences [web] [S.l.]: [sn.] [ca. 2015] [Consulta: 19 mayo de 2016] Disponible en: http://fr.cdn.v5.futura-sciences.com/sources/images/dossier/rte/magic/5267_Figure-13.jpg en <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dossiers/d/maison-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/page/7/>

⁸⁷ Información obtenida de:

Arlita, CDROM, 1997, Áridos ligeros, Madrid

Laterlite. *Producción* [en línea], 2015 [Italia]: Laterlite [consulta: 19 mayo 2016] Disponible en: <http://www.laterlite.es/produccion-2/>

Saint-Gobain. *¿Qué es la Arlita Leca?* [en línea], 2016: Weber Saint-Gobain [s.n.] [consulta: 19 mayo 2016] Disponible en: <http://www.weber.es/soluciones-ligeras-con-arlitareg-lecareg/ayuda-y-consejos/que-es-arlitareg-lecareg.html>

○ Secado, cocción y expansión esta fase del proceso se hace en hornos rotatorios (ilustración 41⁸⁸) con una longitud del orden de cien metros aproximadamente. La arcilla se introduce en el horno en un extremo y a lo largo de toda la longitud, se va aumentando gradualmente su temperatura. En el otro extremo del horno, la temperatura llega aproximadamente a 1200 ° C, la arcilla alcanza el estado pastoso (próximo a la fusión), se produce la combustión de la materia orgánica en el interior de la arcilla y los gases de su combustión expanden la bola de barro hasta alcanzar 5 veces su tamaño original; comenzando así su proceso de expansión y vitrificación que dejando atrapados en su interior infinidad de celdillas de aire, le confiere sus cualidades de ligereza, aislamiento y resistencia. La rodadura de los gránulos en el interior del horno les da la característica forma redondeada y provoca la formación de corteza exterior compacta y resistente.



Ilustración 41 Hornos rotatorios.
Fuente: laterlite



Ilustración 42 Fabricación de la arcilla expandida. Fuente: laterlite

las cintas transportadoras.

○ Cribado del material para obtener la granulometría deseada en un rango comprendido entre 0 – 30mm en función de las especificaciones de producto y su campo de aplicación.

El resultado son unas bolas de barro de diferentes granulometrías y densidades dependiendo de su aplicación:⁹⁰

En estos hornos se producen tres fases:⁸⁹

- 1_ *Precalentador* (41m de largo) entre 900 y 1000 °C, donde la arcilla se deshidrata lentamente para evitar la desintegración de la bola en el siguiente choque térmico;
- 2_ *Expansor* (17m de largo) entre 1150 y 1200 °C y
- 3_ *Enfriador* (21m de largo) las bolas de arcilla tardan media hora en enfriarse hasta una temperatura de 60°C, con un riego final para evitar que las altas temperaturas deterioren

⁸⁸ Hornos rotatorios. En: Laterlite [web] [S.I.]: [sn.] [ca. 2015] [Consulta: 19 mayo de 2016] Disponible en: http://www.laterlite.es/wp-content/uploads/2013/07/azienda_7.jpg en http://www.laterlite.es/?attachment_id=801

⁸⁹ Las medidas de los hornos en cada fase son aproximadas.
Fuente documental de esta información: ARLITA, Áridos Ligeros, S.A.

⁹⁰ Datos obtenidos de:
COSTA, Nelson. Environmental Product Declaration – Type III, 2010. [Aveiro]: Argex – Argila Expandida, SA [consulta 19 mayo 2016] [correo electrónico]

Arcilla expandida

- Rellenos ligeros geotécnicos: 0-2 mm y densidad 550 kg/m³.
- Producción de bloques, mortero: 4-8 mm y 358 kg/m³
- Producción de bloques: 6-12 mm y 300 kg/m³
- Morteros refractarios, hormigones superligeros: 0-4 mm y 575 ± kg/m³
- Pretensados, obra civil: 3-8 mm y 750 ±50 kg/m³.

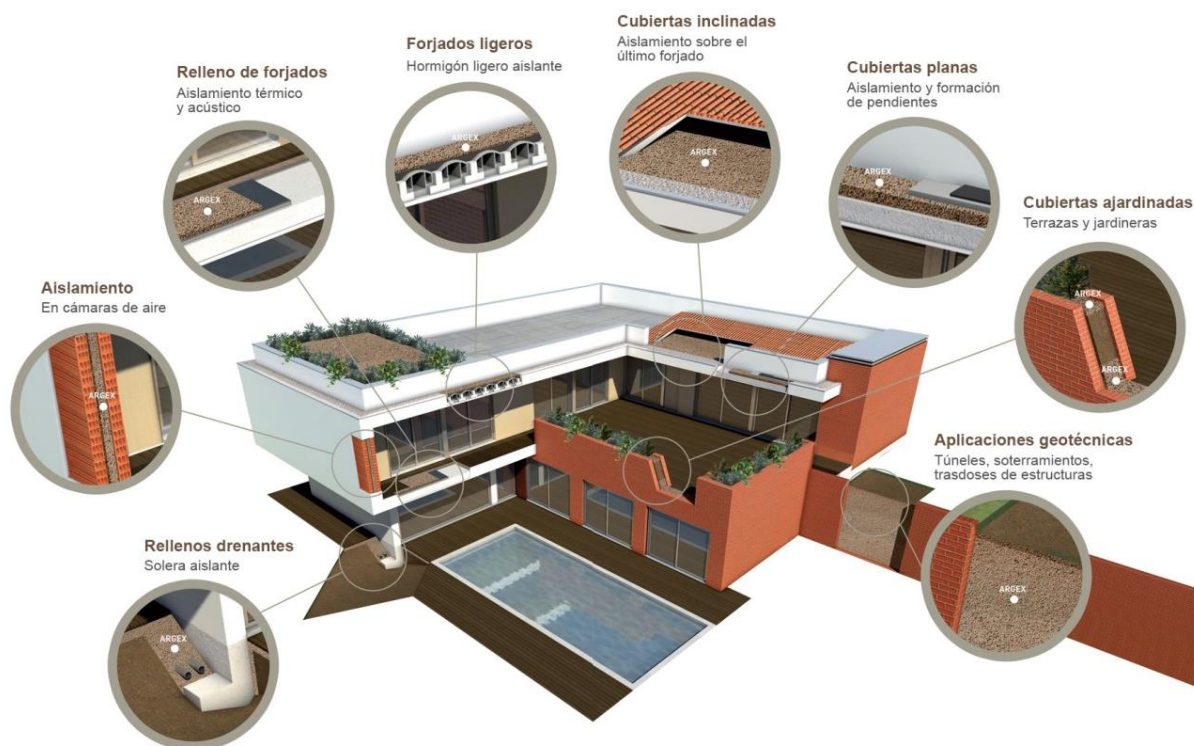


Ilustración 43 Usos de la arlita en edificación. Fuente: Argex⁹¹

El suministro puede realizarse en sacos de 50 l paletizados (70 sacos por palet), en sacos de 1,5 o 3 m³, en bombeo con cisterna o a granel en camión basculante.

3.11.3 Impacto medioambiental

Una vez finalizados los trabajos de extracción en las canteras donde se extrae la arcilla, se desarrollan planes de reforestación realizados por las empresas. Aunque el uso de suelo es la principal causa directa de muchos de los impactos de los sistemas de producción. La actividad minera que ofrece un mayor impacto en el medio ambiente es la explotación superficial o a cielo abierto.⁹²

⁹¹ Usos de la arlita en edificación. En: Argex [web] [S.I.]: [sn.] [ca. 2015] [Consulta: 19 mayo de 2016] Disponible en: http://argex.pt/assets/images/argex_aplicacoes_casa_es.jpg en <http://argex.pt/es/construccion.html>

⁹² GARRAÍN, Daniel; et al. *Impacto medioambiental sobre el uso del suelo de las minas de extracción de materias primas cerámicas en el marco del análisis del ciclo de vida* [en línea] Grupo de Ingeniería del Diseño, Dpto. Ingeniería Mecánica y Construcción, Unicersitat Jaume I. Disponible en: <http://www.gid.uji.es/>

Los impactos derivados de la creación de este tipo de canteras pueden ser, entre otros:

- ⊕ Daños sobre la flora y la fauna de las regiones donde se sitúan, ya que se modifica el ecosistema que habitan.
- ⊕ La generación de ruidos y vibraciones, lo que provoca el desplazamiento de los animales de la zona.
- ⊕ Derrames de aceites y/o combustibles.
- ⊕ Degradación de las aguas superficiales debido a la erosión del suelo en las áreas alteradas, desechos y almacenamiento de materia prima.
- ⊕ Contaminación de las aguas superficiales y freáticas (acuíferos) debido a las aguas drenadas de la mina.
- ⊕ Degradación de la calidad del aire y visibilidad a causa de las partículas atmosféricas (voladura, tráfico)

Hay que apostar por nuevas formas de utilización del territorio, teniendo en cuenta la conservación del medio natural. Por otro lado, si como sociedad se pretende implantar un modelo de desarrollo económico sostenible, este tipo de explotaciones son incompatibles por las razones antes expuestas.

- Composición: la arcilla expandida está compuesta de arcilla, roca sedimentaria, que se extrae de canteras a cielo abierto. Los recursos materiales empleados son arcilla (1.155 Kg/T), arcilla (35 Kg/T) y agua (0.0019 Kg/T)⁹³.
- Energía y CO₂: el proceso de elaboración es costoso desde el punto de vista energético, con lo que el balance energético no es su fuerte. Se llegan a temperaturas de hasta 1200°C con las emisiones de CO₂ que conlleva. En algunas fuentes bibliográficas nos aportan cifras de la energía incorporada de 266 wh/kg⁹⁴. Por otro lado, la empresa Argex nos facilita los siguientes datos:

⁹³ Datos aportados por:

COSTA, Nelson. Environmental Product Declaration – Type III, 2010. [Aveiro]: Argex – Argila Expandida, SA [consulta 19 mayo 2016] [correo electrónico]

⁹⁴ Schmitz-Günther, Thomas. Living spaces sustainable building and design. Könnemann, Cologne, 1999, 479págs. ISBN 978-3895089251

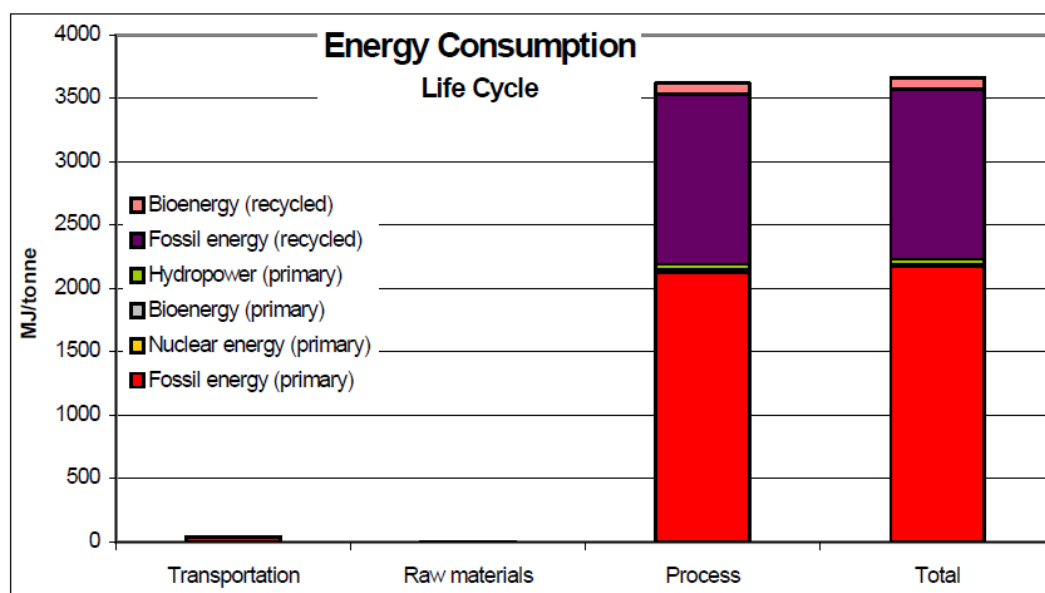


Ilustración 44 Energía incorporada en la fabricación de arcilla expandida. Fuente: Argex⁹⁵

Con respecto a las emisiones y el impacto medioambiental que se genera en la fabricación de la arcilla expandida, según la empresa Argex, son los siguientes:

Impact category	Unit	Total (A1-A3)	A1 Raw materials	A3 Pro-duction	A3.1 Pack-aging
Non-regenerative primary energy	[MJ]	293.30	37.9	228.91	26.49
Regenerative primary energy	[MJ]	23.86	0.24	3.27	20.35
Abiotic depletion	[kg Sb eq]	0.13	0.017	0.10	0.01
Acidification	[kg SO ₂ eq]	0.11	5.22E-03	0.11	3.36E-03
Eutrophication	[kg PO ₄ ³⁻ eq]	4.93E-03	6.03E-04	3.97E-03	3.61E-04
Global warming	[kg CO ₂ eq]	3.02	0.60	3.33	-0.90
Ozone layer depletion	[kg CFC-11 eq]	2.21E-06	3.05E-07	1.88E-06	2.05E-08
Photochemical oxidation	[kg C ₂ H ₄ eq]	5.34E-03	2.65E-05	4.80E-03	2.71E-04

Tabla 46 Energía consumida en las diferentes fases del proceso de manufacturación. Fuente: Argex⁹⁵

⁹⁵ COSTA, Nelson. Environmental Product Declaration – Type III, 2010. [Aveiro]: Argex – Argila Expandida, SA [consulta 19 mayo 2016] [correo electrónico]

Arcilla expandida

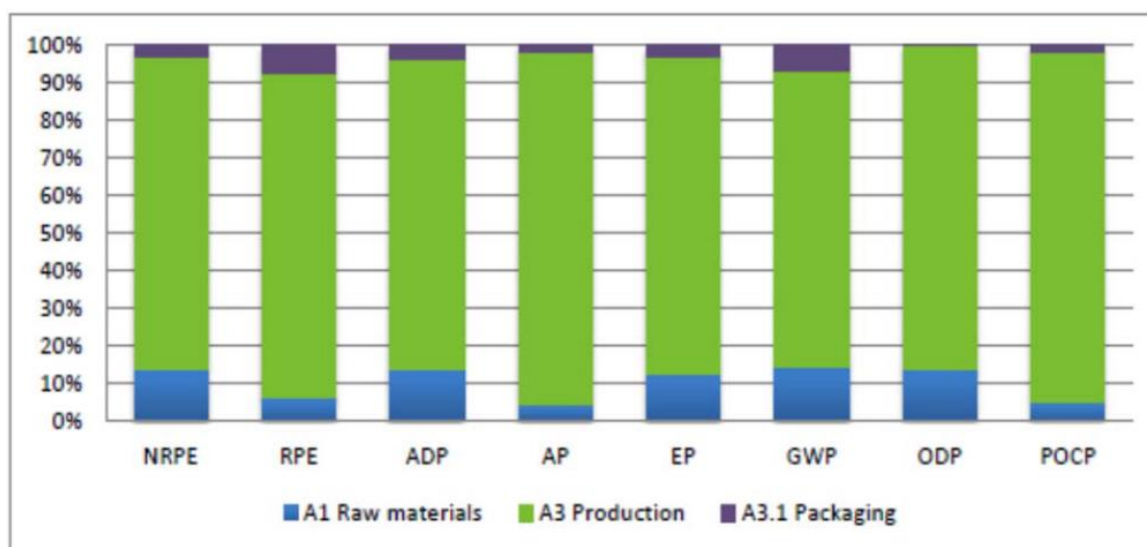


Ilustración 45 Porcentajes del impacto medioambiental de las diferentes fases del proceso de manufacturación. Fuente: Argex⁹⁵

Finalmente, también es interesante conocer las principales emisiones que se generan en las diferentes fases del proceso de fabricación:

Emissions and waste	Transportation	Raw materials	Process	Unit
To air				
CO2	2,8	0,1	278	kg/tonne
CO2 (waste)	0	0	0,37	% of total CO2
CH4	0,65	0,0175	450	g/tonne
N2O	0,029	0,0164	0,7	g/tonne
SO2	3,1	0,01	1205	g/tonne
NOX	27	2,1	1034	g/tonne
NH3	0,00211	0,00012	0,00200	g/tonne
HC	1,9	0,9	30	g/tonne
CO	15,4	1,2	189	g/tonne
PM10	1,3	0,22	126	g/tonne
To water				
NH3	0	0	0	g/tonne
COT	0	0	0	g/tonne
Production waste				
Waste to landfill	0	0,065	2134	g/tonne
Hazardous waste	0	0,001	0	g/tonne
Waste to recycling	0	0	0,11	g/tonne

Tabla 47 Principales emisiones que contribuyen al impacto medioambiental en las diferentes categorías. Fuente: Argex⁹⁵

Arcilla expandida

	COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2
	MJ	kgCO2/kg
ITeC	x	x
FIVE	x	x
Libro ⁹⁶	0,958	x
Argex (granel)	317,16	x

Tabla 48 Coste energético en la fabricación de la arcilla expandida

3.11.4 Valorización

En cuanto al aprovechamiento de este material respecto a su reutilización o reciclado, dependerá del uso al que haya sido destinado. En caso de formar parte de prefabricados, hormigones, capas de compresión o morteros; se pueden destinar como áridos reciclados. Si han sido destinados a aislamiento de cubiertas, jardinería o horticultura podemos reutilizarla o destinarla a la fabricación de hormigones ligeros y aislantes, morteros refractarios, etc.

3.11.5 Propiedades

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitar
Coefficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	x	x	x	0,10-0,20	0,085
Densidad	kg/m3	x	x	200-400	200-400	600±50
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1000	1000	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	x	x	2	2	x
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	A1	A2

Tabla 49 Propiedades de la arcilla expandida

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS		
		Weber	Laterlite	Argex
Coefficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,100-0,110	0,090-0,140	0,100-0,130
Densidad	kg/m3	350-600	350-700	280-550
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	x	x	x
Dilatación térmica	m3	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	A1	A1	A1
Precios	€/m3	80-150	90-130	44-90

Tabla 50 Propiedades de la arcilla expandida según dos fabricantes. Precios

⁹⁶ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

3.11.6 Fabricantes

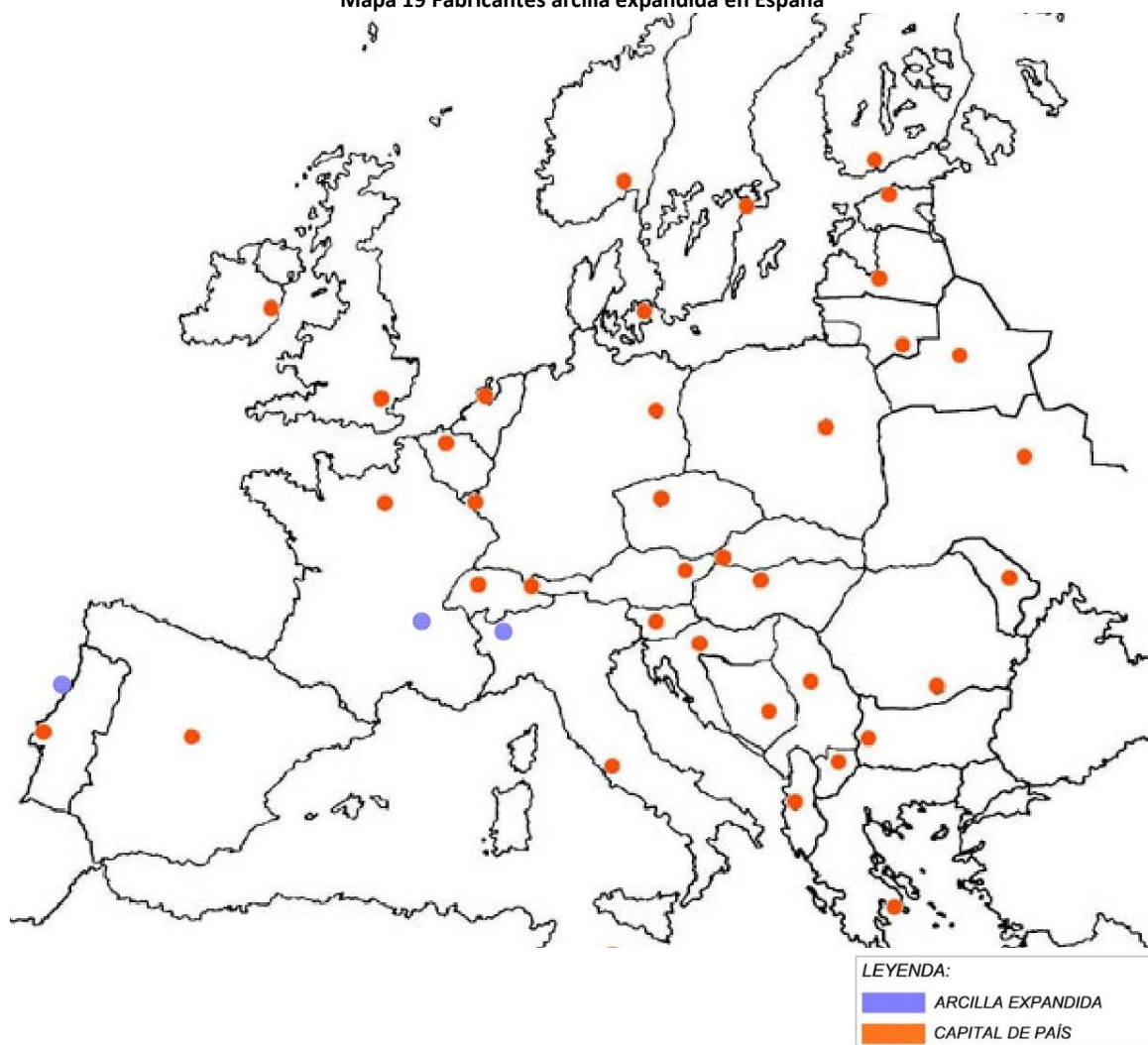
MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Arcilla expandida (Arlita)	ARCIRESA (Arcillas Refractarias, S.A.)	España	Lugo de Llanera	Barrio Castiello s/n 33690 Tel.: +34 98 770 129 e-mail: arciresa@arciresa.es / info@arcillaexpandida.es
	Isover Saint-Gobain	España	Madrid	Príncipe de Vergara, 132 - 28002 Tel.: +34 901 33 22 11
	Laternite	Italia	Milán	20149 e-mail: info@laterlite.es www.laternite.es
		España	Barcelona	Calle Aragón, 290 E-8009 e-mail: infor@laterlite.es
		Francia	Chasselay	69380
	Argex	Portugal	Bustos	Zona industrial de Bustos, Azurveira 3770-011 Tel.: (+351) 234 751 533 e-mail: argex@argex.pt

Tabla 51 Fabricantes de arcilla expandida en España y Europa

Arcilla expandida



Mapa 19 Fabricantes arcilla expandida en España



Mapa 20 Fabricantes de arcilla expandida en Europa

3.12. Lanas minerales: de roca y de vidrio

La lana mineral es un material inorgánico derivado de materias primas naturales (arena, dolomita, caliza y basalto) con una estructura de filamentos pétreos entrelazados multidireccionalmente generando una red flexible y abierta, lo que les permite retener aire en estado inmóvil en su interior. De esta estructura derivan sus propiedades como aislantes térmicos, acústicos y de protección contra incendios.

Como materiales de porosidad abierta (gracias a lo cual tienen buenas prestaciones térmicas y acústicas) pueden retener agua líquida en su interior, por lo que deben emplearse en aplicaciones que estén protegidas del contacto directo con el agua. Si accidentalmente la lana mineral se moja, las propiedades térmicas de la misma (poder aislante) se recuperarán hasta alcanzar los valores iniciales, si el agua no ha causado un daño evidente y se puede eliminar por evaporación o drenaje.

La lana mineral es anisótropa y, para muchas propiedades como las propiedades térmicas y mecánicas, el resultado de una medición perpendicularmente a las caras es diferente de una medición paralela a las caras.



Ilustración 46 Lanas Minerales. Fuente: Afelma⁹⁷

La lana mineral aislante contiene más de 90% de fibras, de 3 a 5% de resinas fenólicas que aseguran la cohesión del producto y el aceite mineral menos de 1% que limita la emisión de polvo y la absorción de agua. Desde el escándalo del amianto, finalmente prohibido en enero de 1997, el peligro de lana mineral para la salud ha sido una controversia científica importante. La finura extrema de las fibras de la lana mineral les permite, tal como el amianto, penetrar profundamente en los alvéolos pulmonares. La controversia se refiere a su carcinogenicidad. A pesar de que no se estableció una relación estadística entre la exposición a estas fibras y el cáncer de pulmón, varios estudios realizados en varios países han llevado a su clasificación por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) en junio de 1987 como “posiblemente carcinógeno para los seres humanos” (grupo 2B). Los fabricantes han respondido modificando ligeramente la composición

⁹⁷ Qué son - propiedades. Afelma [web] Madrid: Asociación de Fabricantes Españoles de Lanas Minerales Aislantes, 2015 [consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en: http://aislar.com/?page_id=2431

de las fibras a fin de mejorar su solubilidad y reducir su “biopersistencia” en el cuerpo. En octubre de 2001 las lanas fueron reclasificadas por la IARC en el grupo 3 “posibles efectos carcinogénicos pero insuficientemente evaluados.”

Actualmente existe el certificado EUCEB (European Certification Board for Mineral Wool Products), el cual indica que el material está libre de sospecha de ser cancerígeno. Ello se debe al cambio de fórmula del tamaño de las fibras, medidas en micras⁹⁸.

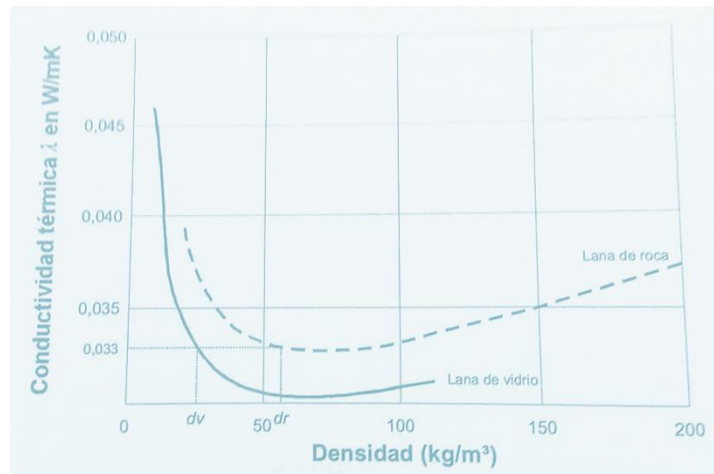


Ilustración 47 Valores de la conductividad térmica en relación a la densidad de las lanas minerales. Fuente: Pastor, 2012⁹⁹

En la imagen anterior podemos ver valores de conductividad térmica en relación a la densidad de las lanas minerales. Donde se puede apreciar que la lana de roca requiere una densidad bastante mayor que la lana de vidrio.

⁹⁸ GISBERT ALEMANY, Ester. La toxicidad de la fibra de vidrio. En: COR & Asociados y aRRsa. Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.: sn.] [ca. 2015] [Consulta: 26 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/la-toxicidad-de-la-fibra-de-vidrio/>

⁹⁹ PASTOR JUAN, Alfonso. *Dossier: Aislantes térmicos en la edificación. Materiales. Exigencias normativas. Directorios*. Alicante: Stampa Edición Digital, S.L. 2012, 72p. ISBN 978-84-938147-2-4

3.13. Lana de roca

3.13.1 Naturaleza y composición

La lista de materias primas empleadas en la obtención de lana de rocas y escorias es considerablemente extensa: granito, calcita, pizarra, basalto, diabasa, gabro, etc., entre las rocas, y escorias de hierro y acero procedentes de altos hornos, entre el segundo grupo formado por residuos industriales, además de escorias de otros metales como cromo, plomo o cobre. Las rocas de tipo basáltico presentan una serie de ventajas por sí mismas: composición química y mineralógica relativamente homogénea, gran abundancia y óptima temperatura de fusión (en torno a 1.100-1.300 °C), todo lo cual las hace, a priori, muy aptas para el procesamiento a escala industrial. La investigación desarrollada acerca del uso de basaltos para la producción de fibra es amplia, y actualmente son numerosas las plantas industriales de producción de lana de roca a partir de basalto, repartidas por todo el mundo.

Este material se diferencia de otros aislantes en que es un material resistente al fuego, con un punto de fusión superior a los 1.200 °C.

Dada su composición (98% roca volcánica, de 2 a 5% aglutinante y 0,5% de aceite vegetal), la lana de roca, gracias a su disposición multidireccional de fibras, tiene también una buena capacidad como aislante acústico.



Ilustración 48 Aislante de lana de roca. Fuente: Naima¹⁰⁰

¹⁰⁰ [Aislante de lana de roca] En: Naima. *Aislantes de lana de roca y escoria* [en línea] EEUU: Naima, North American Insulation Manufacturers Association, 9 de junio del 2011 [Consulta: 31 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.rolan.com/wp-content/uploads/2012/12/naima.pdf>

3.13.2 Proceso de fabricación

El proceso de fabricación de la lana de roca pretende emular la acción natural de un volcán. La roca basáltica es fundida en un horno (cubilote) y vertida en unas ruedas que giran a gran velocidad, transformándola en fibras. Tras la pulverización de un ligante orgánico, se reúnen las fibras para formar un colchón de lana primaria. Este proceso consta de las siguientes fases:

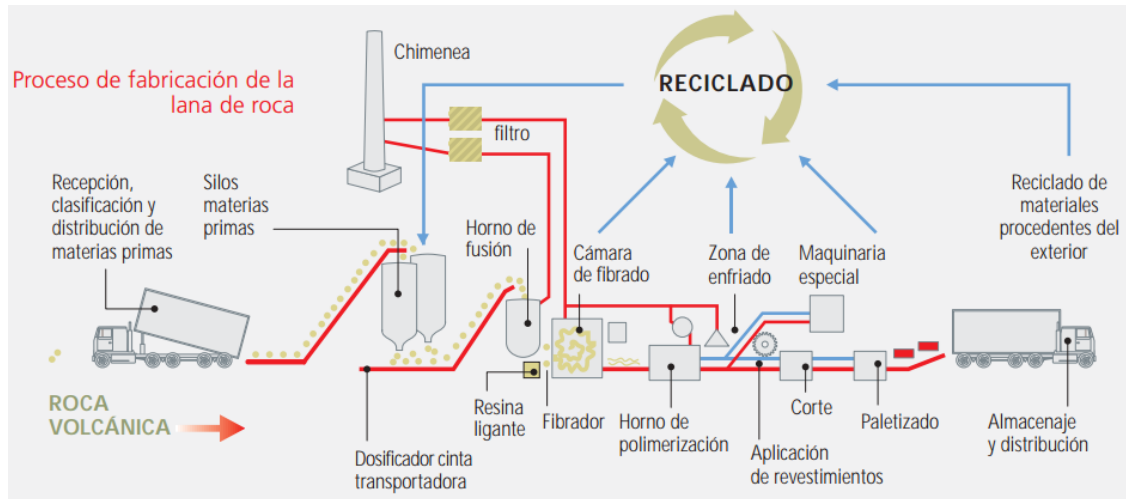


Ilustración 49 Proceso de fabricación de la lana de roca. Fuente: Rockwool¹⁰¹

■ Recepción, clasificación y distribución

La materia prima es almacenada en silos. Para llegar al horno se dosifica y transporta mediante unas cintas transportadoras.

■ Horno

Las materias primas se funden en un horno a temperaturas muy altas, típicamente entre 1300 ° C a 1600 ° C (incluso superiores¹⁰²) para retornarlas a su estado inicial de lava. El humo creado durante este proceso se filtra y los gases de combustión se limpian intentando, así, minimizar el impacto ambiental.

¹⁰¹ Proceso de fabricación de la lana de roca. En: Rockwool. *Soluciones de aislamiento térmico, acústico y contra el fuego. Respuesta a los requisitos del CTE* [en línea] [S.l.]: Rockwool, 2007 [consulta: 31 mayo 2016] Disponible en: <http://www.brico.com/wood/mineral-wool/pdf/e-mas-informacion.pdf>

¹⁰² Rockwool. *Soluciones de aislamiento térmico, acústico y contra el fuego. Respuesta a los requisitos del CTE* [en línea] [S.l.]: Rockwool, 2007 [consulta: 31 mayo 2016] Disponible en: <http://www.brico.com/wood/mineral-wool/pdf/e-mas-informacion.pdf>

■ Hilado / fibrado

La lava es vertida en unas ruedas que giran a gran velocidad, y se transforma en fibras debido al efecto de la fuerza centrífuga.

■ Unión

El velo de fibras, que pasa a través de un anillo de aerosoles que liberan una solución de aglutinante y aceite mineral sobre las fibras para proporcionar integridad, capacidad de resistencia, durabilidad y calidad de manipulación para el producto terminado. La estructura y la densidad del producto se adaptarán en función de su uso final.

No se necesitan aditivos tales como retardantes de fuego para asegurar o mejorar la seguridad contra incendios de lana mineral, ya que es un producto no combustible. Tampoco existe la necesidad de añadir sustancias para mantener el aislamiento libre de moho y insectos.

■ Curación

La lana mineral se endurece en un horno de curado a alrededor de 200 ° C. Cuando la lana de roca se calienta por primera vez a temperaturas superiores a los 200 °C, se pone en marcha una reacción de descomposición del aglutinante, cuyos productos pueden detectarse por su olor. Los productos de descomposición son resultado de la pirolisis o la combustión de la resina. Estos productos de descomposición son principalmente CO₂, CO, partículas de carbono y agua.

■ Corte

La lana mineral se corta al tamaño y forma deseada, por ejemplo, en rollos, bloques, tablas o puede ser personalizado para su uso con otros productos. Los recortes y otros desechos de lana mineral se reincorporan de nuevo en el proceso de producción.

La composición de la lana de roca fruto de este proceso es aproximadamente de 98% roca volcánica y 2% ligante orgánico. Las lanas de nueva generación están libres de formaldehído en su composición.

■ Aplicación de recubrimientos

En caso de fabricación de productos técnicos, se le adhieren los diferentes complejos (papeles, aluminios, etc.) por adición de materiales asfálticos o por fusión del polietileno del propio recubrimiento.

■ Embalaje

Debido a su elasticidad, la lana mineral puede ser comprimida durante el envasado para reducir su volumen.

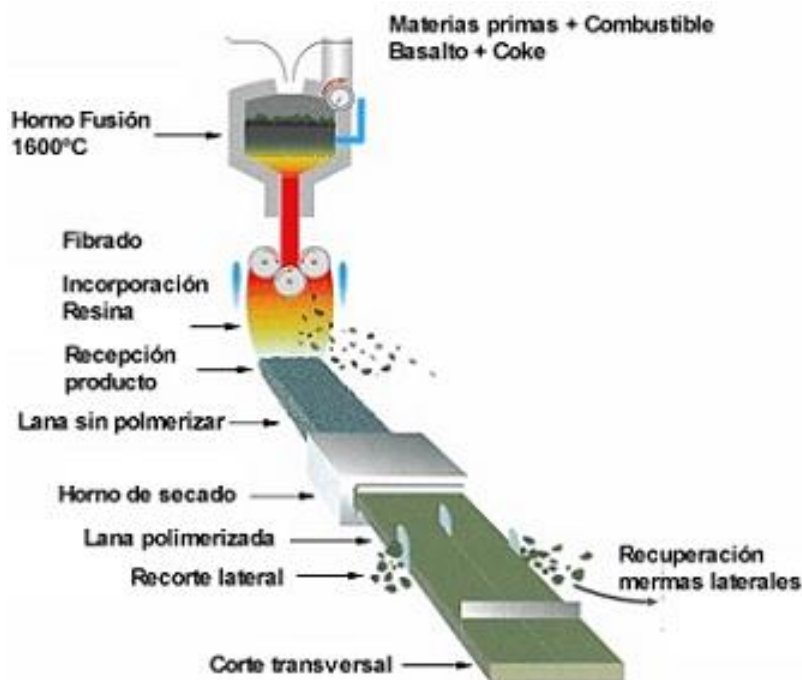


Ilustración 50 Proceso de fabricación de la lana de roca. Fuente: Afelma¹⁰³

Posibles materiales de revestimiento: velo mineral, papel de aluminio laminado, aluminio laminado, betún oxiasfáltico, malla metálica, film de polipropileno, velo mineral pintado.

Por último la lana de roca también se puede aplicar en forma de mortero compuesto de lana de roca y cemento blanco, como aislamiento térmico proyectado.

Se comercializa en forma de mantas (rígidas o semirrígidas), placas y a granel.

¹⁰³ Proceso de fabricación de la lana de roca. En: Afelma [web] Madrid: Asociación de Fabricantes Españoles de Lanas Minerales Aislantes, 2015 [consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en: <http://aislar.com/wp-content/uploads/2015/09/fabricacion-lana-roca.png> en http://aislar.com/?page_id=2431

3.13.3 Impacto medioambiental

Se debería tener en cuenta el gasto energético que conlleva fundir la roca a 1600°C.

Los gases emitidos durante el proceso de producción se limpian en filtros y post-quemadores para minimizar el impacto ambiental. El uso del agua en el proceso se limita generalmente a sistemas de circuito cerrado.

Para su colocación hay que protegerse los ojos, la piel y el sistema respiratorio. Hay cierto consenso en que es la forma y la durabilidad de las fibras la que les confiere efectos similares a los del amianto, cuando son inhaladas.

En cuanto a su carcinogénesis, está admitido que la respuesta citogenética de las fibras no está ligada a su composición química, sino a su morfología fibrosa. Estos productos, en octubre de 2001, la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) clasificó el aislamiento de lana de roca en el Grupo 3 (no puede considerarse cancerígeno para los humanos). Un estudio más reciente llevado a cabo por la RCC (Research and Consulting Company), en el que se expuso a ratas a la inhalación nasal de un tipo de lana de roca y otro tipo de lana de escoria, tampoco evidenció desarrollo de neoplasias. En el caso de la lana de roca, sin embargo, las ratas expuestas desarrollaron mínima fibrosis.¹⁰⁴

	Vm fabricantes				COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2
	ρ (kg/m ³)	ρ (kg/m ³) ITeC	λ (W/m.k)	e(mm)	MJ/kg	kgCO ₂ /kg
ITeC	120	161-200	0,039	20	84,54	5,36
	120	116-125	0,037	40	112,87	7,16
	120	116-125	0,037	80	225,74	14,31
	120	116-125	0,037	100	282,18	17,89
FIVE	x	x	x	x	15 a 25	x
Libro ¹⁰⁵	x	x	x	x	2,869	x

Tabla 52 Coste energético de la fabricación de la lana de roca¹⁰⁶

¹⁰⁴ ROSER, Costa, et al. Fibras minerales artificiales y aparato respiratorio. *Archivos de bronconeumología* [web] Barcelona: servicio de neumología del Hospital Universitari Autònoma de Barcelona, 2012 [consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.archbronconeumol.org/es/fibras-minerales-artificiales-aparato-respiratorio/articulo/S0300289612001202/#aff0005>

¹⁰⁵ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

¹⁰⁶ Vm fabricantes → valores medios de densidad proporcionados por fabricantes (ver gráficos 10 y 11)

ρ (kg/m³) → Densidad teórica (ver datos de la tabla 116)

ρ (kg/m³) ITeC → Densidad aproximada al valor anterior proporcionada por ITeC

λ (W/m.k) → Conductividad térmica proporcionada por ITeC

3.13.4 Valorización

A algunas empresas como Rockwool se le pueden devolver los residuos de material a la fábrica de Caparroso (Navarra) para ser reutilizados, previo contacto para concertar el transporte y las condiciones. El material de embalaje si es polietileno, al ser un termoplástico, puede enviarse a los fabricantes de PE para su reciclado.

3.13.5 Propiedades

Los productos de lana de roca no retienen el agua, poseen una estructura no capilar, además de ofrecer una fuerte permeabilidad al vapor de agua.

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitat
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,030-0,050	x	x	0,042-0,045	0,040
Densidad	kg/m3	x	20-200	10-200	40-200	20-250
Granel		x	x	15-60	x	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1030	1000	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1	x	1	1	1
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	% en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	A1	A	x	x	x
Panel rígido		x	x	x	x	AaB
Precios	€/m2	5	4-10	x	x	x

Tabla 53 Propiedades de la lana de roca. Precios

Lana de roca

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS		
		Isover	Rockwool	Knauf
Coefficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	x	x	x
Rollo		0,040	0,037	0,037
Panel rígido		0,039	0,034-0,041	0,035-0,037
Panel semi-rígido		x	0,034-0,036	0,032
Grael		x	0,045	0,034
Densidad	kg/m3	x	x	x
Panel rígido		x	90-150	x
Panel semi-rígido		x	30-70	x
Grael		x	20-70	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	800	840	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1	1	1
Dilatación térmica	m3	x	x	x
Capacidad higroscópica	% en peso	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x
Rollo		F	x	F
Panel rígido		A1	A1	A1
Precios	E/m2	4-20	3-5	2-10

Tabla 54 Propiedades de la lana de roca según fabricantes. Precios

3.13.6 Fabricantes

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
LANA DE ROCA	Rockwool	España	Navarra	Carretera N120 km. 53,5; 31380 Caparrosa Tel.: +34 93 318 90 28 e-mail: info@rockwool.es
	Knauf	España	Barcelona	C/ La Selva 2 - Edificio Géminis, Parque empresarial Mas Blau, E-08820 El Prat de Llobregat www.knaufinsulation.es Tel.: +34 93 379 65 08 e-mail: hola@knaufinsulation.com
	Isover Saint-Gobain	España	Madrid	Príncipe de Vergara, 132 - 28002 Tel.: +34 901 33 22 11
	L'isolante k-flex España S.A.	España	Madrid	Avda. Del Sistema Solar, 7 Nave - Parque Tecnológico 08740 San Fernando de Henares Tel.: +34 902 443 444 - info@k-flex.es
		España	Barcelona	C/ Energía, 63-65 Pol. Ind. Nor Est. 08740 Sant Andreu de la Barca Tel.: +34 902 443 444 - info@k-flex.es

Tabla 55 Fabricantes de lana de roca en España

Lana de roca



Mapa 21 Fabricantes de aislamientos de lana de roca en España



Mapa 22 Fabricantes de aislamientos de lana de roca en Europa

3.14. Lana de vidrio

3.14.1 Naturaleza y composición

En contra de lo que puede parecer, el vidrio es un material del que desde muy antiguo se quiso aprovechar sus características de fibrosidad. La fibra se obtenía extrayendo vidrio de un crisol con material fundido de vidrio por medio de una varilla metálica que se retiraba con rapidez.

En el año 1713, el físico francés Antonie de Reaumur expone sus trabajos sobre la lana de vidrio. No obstante, y dado que desde sus inicios el interés por la lana de vidrio estaba centrado en sus características textiles, la investigación sobre las lanas se estancó al no conseguir fibras lo suficientemente finas y flexibles como para llegar a ser competitivo en aquel sector.

Aunque se desconoce con exactitud cuándo y cómo el interés por la lana de vidrio se centra en sus características aislantes, sí parece contrastado que tal interés surge en paralelo a un nuevo procedimiento de fibrado, denominado “algodón de vidrio” y que se basaba en el estiramiento del material fundido en un entorno de vapor. Con ello se conseguían fibras más delgadas.

Advertidas sus características aislantes, en la Primera Guerra Mundial se le da un fuerte impulso al utilizarlo los alemanes en sustitución de los materiales tradicionales, de los que carecían: corcho, amianto, tierra de diatomeas, etc.



Ilustración 51 Lana de vidrio. Fuente: Catálogo URSA

En la terminología de las fibras de vidrio, se denomina "lana" a un entramado de fibras cortas sin orden aparente alguno, en contraste con el filamento continuo o vidrio textil.

La lana de vidrio es un producto de origen natural, mineral e inorgánico compuesto de arena –óxido de sílice-, feldespato –silicato de aluminio y potasio-, carbonatos –de calcio, de sodio y dolomita-, bórax –hidróxido de boro pentahidratado- y vidrio de reciclaje externo e interno (del propio proceso¹⁰⁷). El sílice y el bórax son óxidos formadores de vidrio; el resto de componentes son modificadores. Su estructura está formada por filamentos de vidrio aglutinados mediante resina ignífuga. Se obtiene por un proceso similar a la lana de roca y presenta buena resistencia a la humedad.

¹⁰⁷ URSA, Grupo Uralita. *Caracterización de la lana mineral de vidrio y su aplicación en edificación* [en línea] Madrid: URSA, Grupo Uralita, 2009 [consulta: 5 de junio del 2016] Disponible en: <http://docplayer.es/2737842-Caracterizacion-de-la-lana-mineral-de-vidrio-y-su-aplicacion-en-edificacion.html>

Algunos de los riesgos para la salud de las fibras de la lana de vidrio es que son frágiles y por lo tanto altamente irritante tanto para la piel (picor, irritación) y en el tracto respiratorio superior (inflamación, traqueítis, laringitis, etc.), en particular, durante el ajuste de trabajo. En la fabricación de lanas de vidrio convencionales, se empleaban aglutinantes que contenían fenol -formaldehído y resina de urea, los cuales liberan pequeñas cantidades de formaldehído, que se sabe causan alergias y asma y son productos cancerígenos. Debido a su prohibición en 2004, las lanas de nueva generación no contienen estos compuestos.

3.14.2 Proceso de fabricación

Materias primas son de arena, piedra caliza y carbonato de sodio, así como vidrio reciclado fuera de cortes del proceso de producción procedentes de la automoción o la botella de cristal se utiliza cada vez más en la fabricación de lana de vidrio y ahora representa hasta el 85%. Las etapas del proceso de fabricación son las siguientes:

■ Recepción, clasificación y distribución

La materia prima es almacenada en silos. Se utiliza un sistema de dosificación automático controlado por un ordenador con unas básculas que generan lotes de seis a setecientos kilogramos. Esta carga va a parar a la mezcladora durante 2-3 minutos y automáticamente sale en dirección a la zona de fusión a través de una tolva de 3t que suministra en continuo.

A continuación se añade el vidrio de reciclado. Una parte de este vidrio es el que se genera durante los paros de fabricación, pero otra parte proviene de vidrio plano de reciclaje de lunas y ventanas debido a la homogeneidad de su composición.

■ Horno

Las materias primas, una vez mezcladas, se introducen en el horno de fusión y mediante la aportación de energía eléctrica y gas natural. Éstas se funden a temperaturas muy altas, típicamente entre 1300 ° C a 1500 ° C. El humo creado durante este proceso se filtra y gases de combustión se limpian para minimizar los impactos ambientales.

■ Hilado

El vidrio fundido se distribuye por unos canales, que alimentan las líneas de producción, donde se acondiciona a la temperatura adecuada en función del producto a fabricar.

A la salida del canal hay una hilera de un diámetro concreto con dos pletinas de platino que alimentadas eléctricamente alrededor de los 1500-2600 amperios, regula la extracción.

Este caudal de vidrio se centrifuga en el interior de un disco microperforado formándose así los filamentos de vidrio regulando de forma precisa el tamaño de dichas fibras para adaptarlo a las exigencias de cada producto.

■ Unión

Mediante un sistema de pulverizado, se consigue un bañado de las fibras con resinas termoendurecibles, las cuales una vez polimerizadas mantienen el espesor del producto final. En función de la velocidad de línea obtendremos distintas densidades.

Además, se la añade del 2 al 15% de óxido de boro.

■ Curación

Esta fibra cae sobre la cámara de afieltrado. Regulando la altura del horno de curado se regula el espesor. Las resinas que bañan las fibras polimerizan mediante una corriente de aire caliente a una temperatura entre 250 y 300°C y se transforman en un elemento termoestable.

■ Corte

La lana mineral se corta al tamaño y forma deseada, por ejemplo, en rollos, bloques, tablas o puede ser personalizado para su uso con otros productos. Los recortes y otros desechos de lana mineral se reciclan de nuevo en el proceso de producción.

■ Aplicación de recubrimientos

En caso de fabricación de productos técnicos, se le adhieren los diferentes complejos (papeles, aluminios, etc.) por adición de materiales asfálticos o por fusión del polietileno del propio recubrimiento.

■ Embalaje

Debido a su sorprendente elasticidad, la lana mineral puede ser comprimida durante el envasado para reducir su volumen.

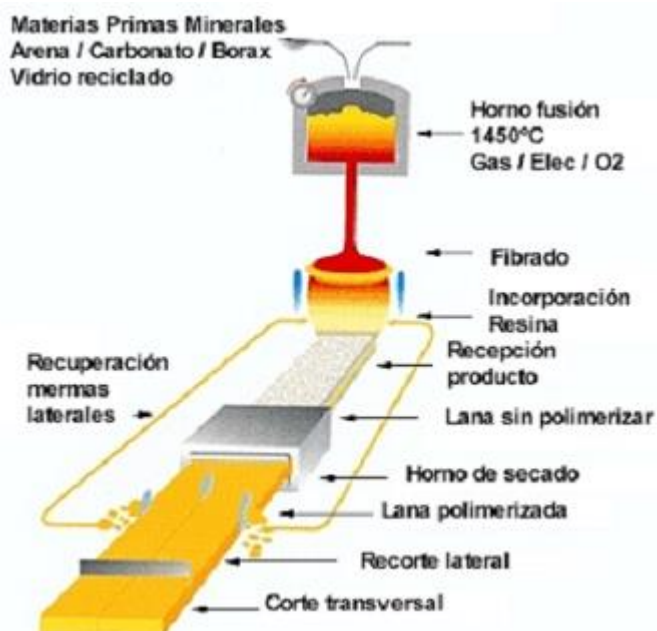


Ilustración 52 Proceso de fabricación de la lana de vidrio. Fuente: Afelma¹⁰⁸

En su manipulación es aconsejable emplear máscaras, guantes y gafas; ya que las fibras de la lana de vidrio son frágiles y por lo tanto altamente irritantes tanto para la piel (picor, irritación) y en el tracto respiratorio superior (inflamación, traqueítis, laringitis, etc.), en particular, durante los trabajos de colocación y desmontaje.

Al igual que la lana de roca se sirve en forma de mantas y paneles, siendo un aislamiento térmico ignífugo.

3.14.3 Impacto medioambiental

Alguna mejora que se está introduciendo respecto de la materia prima es el empleo creciente del vidrio reciclado en su fabricación, con el consecuente ahorro en la extracción de arena, esto último ampliamente criticado.

Los gases emitidos durante el proceso de producción se limpian en filtros y post-quemadores para minimizar el impacto ambiental. El uso del agua en el proceso se limita generalmente a sistemas de circuito cerrado.

El problema ambiental de las lanas minerales son las pequeñas fibras que se desprenden en su fabricación e instalación, que son respirables y se asocian con problemas de conjuntivitis, irritaciones cutáneas y problemas pulmonares para los trabajadores.

¹⁰⁸ Proceso de fabricación de la lana de vidrio. En: Afelma [web] Madrid: Asociación de Fabricantes Españoles de Lanas Minerales Aislantes, 2015 [consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en: <http://aislar.com/wp-content/uploads/2015/09/fabricacion-lana-vidrio.png> en http://aislar.com/?page_id=2431

Hace algún tiempo ya que la fibra de vidrio se fabrica con un sello “EUCEB”. Este sello indica que el material está libre de sospecha de ser cancerígeno. Ello se debe al cambio de fórmula del tamaño de las fibras, medidas en micras hace ya muchos años.

Sería importante determinar la marca, edad y sello del fabricante, antes de retirar el aislante. En caso de tratarse de un material sin sello EUCEB puede cambiarse el material por otro aislante, contratando para ello una empresa especializada y homologada y que tenga experiencia en la retirada de este tipo de materiales y/o instalación del aislante.

En caso de las lanas convencionales, fabricadas en fechas anteriores al 2004, es importante tener en cuenta que pueden contener aglutinantes que contenían fenol -formaldehído y resina de urea, los cuales liberan pequeñas cantidades de formaldehído. Por lo que para su manipulación hay que llamar a una empresa especializada en este tipo de materiales.

Recientemente, investigadores de la RCC confirmaron que la inhalación de 2 tipos distintos de fibras de vidrio en ratas durante 2 años no producía tumores ni tampoco fibrosis. Son de mención especial 2 tipos de microfibras de lanas de vidrio más biopersistentes, la 475 y la E. En un estudio de inhalación en hámsteres se observó que la fibra de vidrio 475 no indujo tumores pulmonares pero sí fibrosis pulmonar y un solo caso de mesotelioma. Sin embargo, sí reportaron cáncer de pulmón, además de mesoteliomas, en ratas que estuvieron expuestas por vía inhalatoria a la fibra de vidrio E¹⁰⁹.

	Vm fabricantes ρ(kg/m ³)	λ(W/m.k)	e(mm)	COSTE ENERGÉTICO MJ/kg	EMISIONES CO ₂ kgCO ₂ /kg
ITeC	145	0,032	20	71,03	2,15
	145	0,032	40	142,07	4,29
	145	0,033	80	284,14	8,58
	145	0,033	100	355,17	10,73
FIVE	x	x	x	15 a 50	x
Libro ¹¹⁰	x	x	x	x	x

Tabla 56 Coste energético de la fabricación de la lana de vidrio¹¹¹

¹⁰⁹ ROSER, Costa, et al. Fibras minerales artificiales y aparato respiratorio. *Archivos de bronconeumología* [web] Barcelona: servicio de neumología del Hospital Universitari Autònoma de Barcelona, 2012 [consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.archbronconeumol.org/es/fibras-minerales-artificiales-aparato-respiratorio/articulo/S0300289612001202/#aff0005>

¹¹⁰ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

¹¹¹ **Vm fabricantes** → valores medios de densidad proporcionados por fabricantes (ver gráficos 10 y 11)

ρ(kg/m³) → densidad teórica (ver datos de la tabla 116)

ρ(kg/m³) ITeC → Densidad aproximada al valor anterior proporcionada por ITeC

λ (W/m.k) → Conductividad térmica proporcionada por ITeC

3.14.4 Valorización

Estos materiales, cuando se conviertan en residuos, se pueden devolver a las fábricas para ser reutilizados, previo contacto para concertar el transporte y las condiciones. El material de embalaje si es polietileno, al ser un termoplástico, puede enviarse a los fabricantes de PE para su reciclado.

3.14.5 Propiedades

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitat
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,030-0,050	x	x	0,042-0,045	0,035
Densidad	kg/m3	x	x	10a200	10a110	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1030	x	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1 - 1,3	x	1	1	1
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	A	A	x	x	A-B
Precios	€/m2	5	3-5	x	x	x

Tabla 57 Propiedades de la lana de vidrio. Precios

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS	
		ISOVER	URSA
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,044	0,035-0,042
Panel semi-rígido		0,037-0,038	0,038-0,039
Panel flexible		0,038	0,040-0,042
Rollo		0,036-0,040	x
Densidad	kg/m3	x	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	800	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	1	1
Dilatación térmica	m3	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	A-F	A-B
Precios	€/m2	3-10	3-7

Tabla 58 Propiedades de la lana de vidrio según fabricantes. Precios

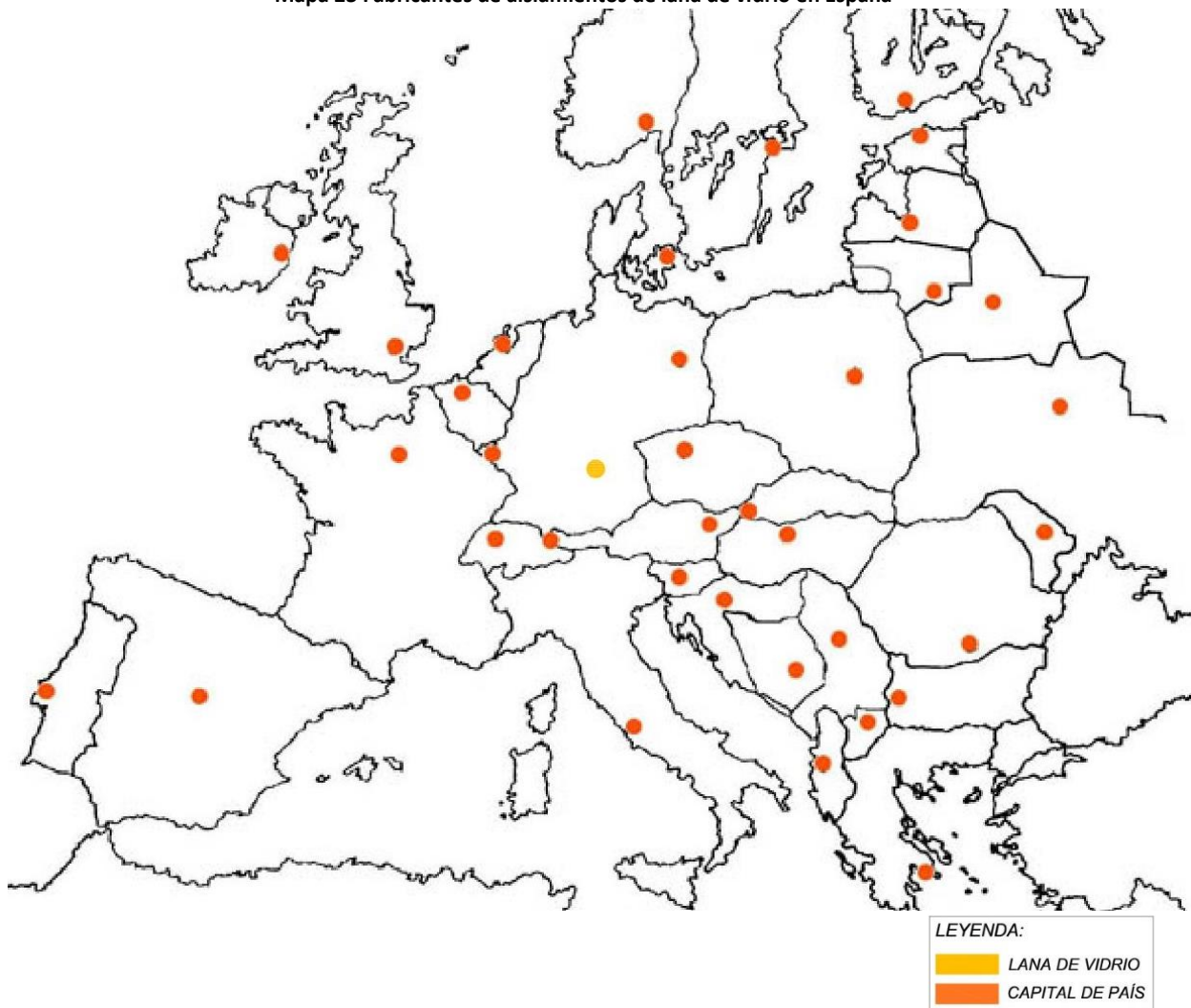
3.14.6 Fabricantes

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
LANA DE VIDRIO	URSA Ibérica Aislantes, S.A.	España	Tarragona	Carretera Vila-Rodona km7, El Plà de Santa María 43810 Tel.: +34 902 30 33 36/39 e-mail: webmaster.ursaiberica@ursa.com
	Isover Saint-Gobain	España	Madrid	Príncipe de Vergara, 132 - 28002 Tel.: +34 901 33 22 11
	Glas GmbH Trösch	Alemania	Nördlingen	Reuthebogen 7-9 86720

Tabla 59 Fabricantes de lana de vidrio en España y Europa



Mapa 23 Fabricantes de aislamientos de lana de vidrio en España



Mapa 24 Fabricantes de aislamientos de lana de roca en Europa

3.15. Perlita

3.15.1 Naturaleza y composición

La perlita proviene de un vulcanismo muy joven en términos geológicos (de fines del Terciario y principios del Cuaternario), lo que le da la posibilidad de conservar aún su capacidad de expansión. Al calentarse, la humedad que conserva se separa de la composición, permitiendo que la perlita expanda su volumen hasta veinte veces, a la vez que pierde peso.

La perlita es un mineral industrial, no metálico, que se forma a partir de un vidrio volcánico que se hidrata en el momento de su enfriamiento.

En la siguiente tabla podemos ver la composición química de la perlita:

COMPONENTE	PORCENTAJE
Sílice (SiO_2)	70-75%
Óxido de aluminio (Al_2O_3)	12-15%
Óxido de Sodio (Na_2O)	3-4%
Óxido Potásico (K_2O)	3-5%
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	0,5-2%
Óxido de magnesio (MgO)	0,2-0,7%
Óxido de calcio (CaO)	0,1-1,5%
Agua químicamente combinada	3-5%

Tabla 60 Composición química de la perlita

3.15.2 Proceso de fabricación

El primer proceso en la fabricación de perlita, consiste en la extracción de la materia prima en la mina, donde se somete a un proceso de limpieza, eliminación selectiva de las impurezas, pasando posteriormente las piedras a molerse en sucesivos molinos.

Luego pasa a una zona de desecado a alta temperatura (300-400 °C) para eliminar la humedad del mismo, y proceder a su clasificación en bandas granulométricas distintas.

Todo este proceso se realiza normalmente en minas y canteras de países del sur de Europa.

La siguiente fase de la materia prima, es el tratamiento térmico en el horno de expansión. Se trata de un horno vertical, alimentado de forma continua con depósitos de propano. Al ponerse en contacto el mineral con una llama a alta temperatura, superior a los 1.000°C, se provoca un cambio en su estado físico-químico, ya que se evapora bruscamente el agua, estallando la partícula y aumentando de 10 a 20 veces su volumen original. El material expandido es de un color blanco brillante, debido a la reflectividad de las burbujas atrapadas.

Perlita

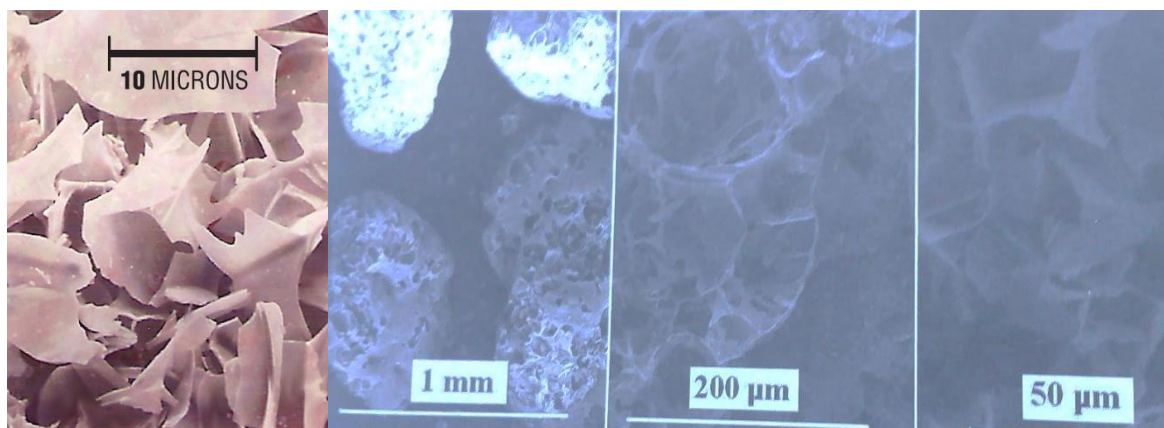


Ilustración 53 Estructura de la perlita expandida. Fuente: Perlite¹¹²

En su forma expandida se emplea como aglomerante en morteros aislantes y hormigón ligero, aislamiento en relleno de cámaras, ladrillo refractario, recocado de soleras, prefabricados aislantes y ligeros, revoque aislante acústico y térmico (mezclado con escayola), protector contra el fuego de estructuras, aislamiento de hornos industriales, en agricultura, horticultura y ganadería.

Los tipos de perlita expandida comercializados se clasifican según su granulometría, desde los 0 /1,5 mm hasta los 3 / 5 mm. Se presenta en sacos de 100, 125 y 167 litros o a granel en cisternas.



Ilustración 54 Perlita expandida. Fuente: Nestaan¹¹³

¹¹² [Estructura de la perlita expandida] En: Perlite [web] EEUU: Perlite Institute, Inc. 2011[Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <https://perlite.org/espanol/PDFs/Funciona-Perlita.pdf>

Estructura típica de la perlita expandida en tres vistas de ampliación. En: PASTOR JUAN, Alfonso. *Dossier: Aislantes térmicos en la edificación. Materiales. Exigencias normativas. Directorios*. Alicante: Stampa Edición Digital, S.L. 2012, 72p. ISBN 978-84-938147-2-4

¹¹³ [Perlita expandida] En: Nestaan [web] Dinamarca: Nestaan, 2016 [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: http://www.nestaan.be/nl/detail_63.aspx

3.15.3 Impacto medioambiental

En la mayoría de las fuentes consultadas, vemos que la materia prima procede, principalmente de Grecia y Turquía y es transportada en buques, lo que esto conlleva de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Antes de la extracción, se hacen evaluaciones para asegurar mínimas alteraciones a la biología local y para evitar cualquier tipo de impacto en sitios arqueológicos.

También debemos tener en cuenta los efectos de su extracción sobre el medioambiente, ya que se hace en minas a cielo abierto.

Una vez finalizados los trabajos de extracción en las canteras se desarrollan planes de reforestación realizados por las empresas. Aunque el uso de suelo es la principal causa directa de muchos de los impactos de los sistemas de producción. La actividad minera que ofrece un mayor impacto en el medio ambiente es la explotación superficial o a cielo abierto.¹¹⁴

Los impactos derivados de la creación de este tipo de canteras pueden ser, entre otros:

- ⊕ Daños sobre la flora y la fauna de las regiones donde se sitúan, ya que se modifica el ecosistema que habitan.
- ⊕ La generación de ruidos y vibraciones, lo que provoca el desplazamiento de los animales de la zona.
- ⊕ Derrames de aceites y/o combustibles.
- ⊕ Degradación de las aguas superficiales debido a la erosión del suelo en las áreas alteradas.
- ⊕ Contaminación de las aguas superficiales y freáticas (acuíferos) debido a las aguas drenadas de la mina.
- ⊕ Degradación de la calidad del aire y visibilidad a causa de las partículas atmosféricas (voladura, tráfico)

¹¹⁴ GARRAÍN, Daniel; et al. *Impacto medioambiental sobre el uso del suelo de las minas de extracción de materias primas cerámicas en el marco del análisis del ciclo de vida* [en línea] Grupo de Ingeniería del Diseño, Dpto. Ingeniería Mecánica y Construcción, Unicersitat Jaume I. Disponible en: <http://www.gid.uji.es/>

Perlita

	Vm fabricantes		e(mm)	COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2
	Ø (mm)	ρ(kg/m3)		MJ/kg	kgCO2/kg
ITeC (<i>granel</i>)	0,5-2	62,50	60-70	x	294,45
	0,5-3	115	100-130	x	520,95
	1-4	115	100-125	x	509,63
FIVE	x	x	x	x	5-20
Libro ¹¹⁵	x	x	x	x	1,912

Tabla 61 Coste energético de la fabricación de perlita¹¹⁶

3.15.4 Valorización

La perlita es un material reutilizable y reciclable en sectores como la agricultura, horticultura y ganadería.

3.15.5 Propiedades

La perlita no expandida ("cruda") tiene una densidad cercana a 1100 kg/m³ (1,1 g/cm³). La perlita expandida tiene típicamente una densidad de 30–150 kg/m³.

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitar
Coefficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,040-0,060	x	x	0,041-0,060	0,041-0,052
Densidad	kg/m3	x	x	30-150	30-150	50-125
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	900	900-1000	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	3-8	x	2	2	x
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	A1	A1
Precios	€/m3	180-300	200-550	x	x	x

Tabla 62 Propiedades de la perlita. Precios

¹¹⁵ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

¹¹⁶ **Vm fabricantes** → valores medios de densidad proporcionados por fabricantes (ver gráficos 10 y 11)

ρ(kg/m3) → Densidad teórica (ver datos de la tabla 116)

ρ(kg/m3) ITeC → Densidad aproximada al valor anterior proporcionada por ITeC

Perlita

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS	
		Nordisk Perlite	Perlinduntria 2002
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,042	0,035-0,060
0 – 1,5mm		x	0,035
3 – 5mm		x	0,045
Densidad	kg/m3	50-90	50-120
0 – 1,5mm		x	48-65
3 – 5mm		x	105-125
Calor específico (Cp)	J/kg.k	837	837
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	3-4	x
Dilatación térmica	m3	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x
Precios	€/m3	140-200	98

Tabla 63 Propiedades de la perlita según fabricantes. Precios

3.15.6 Fabricantes

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Perlita	Europerlita Española, S.A.	España	Barcelona	Calle Beethoven 1, Pg Can Jordi 08191, Rubí
	Nordisk Perlita ApS	Dinamarca	Hilerod	Hammersholt Erhvervspark 1-5, 3400 Tel.: +45 48 14 07 22 e-mail: nordisk@perlite.dk
	Perlita y vermiculita	España	Barcelona	Polígono Can Prunera C/Garraf s/n 08579 Vallirana Tel.: +34 93 683 4400 e-mail: info@perlitayvermiculita.com
			Madrid	C/ Isaac Peral 12, 6ºC 28015 Tel.: +34 91 543 04 92
			Bilbao	Polígono Industrial Asua Berri Ctra. Cantera Pab. 118-119; 48950 Asua- Ernadio (Bizcaia)
		Francia	Lognes	7 Mail Barthélémy Thimonnier 77185; Tel.: +33 1 60 06 55 66 e- mail:abdelmohsen@carboline.com
		Italia	Milán	Via Milano, 150; 20093 Cologno Monzese Tel.:+39 02 25 37 51 e-mail: bmazzocchi@stoncor.com
		Portugal	Mortágua	Rua António Maurício Manriques, 5; Vale de Açores 3450-206 Mortágua Tel.: +351 231927480 e-mail: geral@tria.pt
	Perlindustria 2002	España	Barcelona	Polígono Can Prunera s/n 08579 Vallirana Tel.: +34 93 683 4400 e-mail: info@perlindustria.com

Tabla 64 Fabricantes de perlita en España y Europa

Perlita



Mapa 25 Fabricantes de perlita expandida en España



Mapa 26 Fabricantes de perlita expandida en Europa

3.16. Vermiculita

3.16.1 Naturaleza y composición

La vermiculita es una arcilla que pertenece a la familia de la mica, y se compone básicamente de silicatos de aluminio, hierro y magnesio. En la siguiente tabla podemos ver sus componentes químicos:

COMPONENTE	PORCENTAJE
Sílice (SiO_2)	45,1%
Óxido Magnésico (MgO)	23,6%
Óxido Férrico (Fe_2O_3)	5,8%
Alúmina (Al_2O_3)	10,2%
Óxido Cálculo (CaO)	3,0%
Óxido Titanio (TiO_2)	0,7%
Óxido Potásico (K_2O)	0,5%
Óxido de Sodio (Na_2O)	0,1%
Agua	2,0%
Otros compuestos	2,5%

Tabla 65 Composición química de la vermiculita

Se caracteriza por su estructura foliada y su presentación en placas cristalinas de color amarillento (Ilustración 55¹¹⁷) que pueden medir hasta y más de 228,6 mm a lo largo y 152,4 de grosor. Esta presentación brillante en láminas convierte su superficie en un gran reflector de la radiación solar, lo cual dispersa el calor y aumenta la capacidad de aislamiento térmico en el material.



Ilustración 55 Aspecto del mineral de mica después de la extracción. Fuente: futura-sciences

¹¹⁷ Aspecto del mineral de mica después de la extracción. En: Futura.sciences [web] Francia: Futura.sciences, 2016 [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: http://fr.cdn.v5.futura-sciences.com/sources/images/dossier/rte/magic/5397_Figure-20.jpg

3.16.2 Proceso de fabricación

Mineral de la familia de la mica compuesto básicamente por silicatos de aluminio, magnesio y hierro. Su forma natural es la de una mica de color pardo y estructura laminar, conteniendo agua interlaminada.

Dentro de la estructura interna de la vermiculita se encuentran moléculas de agua, que cuando se calienta rápidamente a altas temperaturas, se transforma en vapor causando que las partículas de vermiculita aumenten de volumen; este proceso de exfoliación térmica genera un producto ligero que encuentra su uso en diversos productos de construcción y en la agricultura.



Ilustración 56 Aspecto de la vermiculita exfoliada. Fuente: futura-sciences¹¹⁸

La vermiculita al someterla a una temperatura de unos 870°C se expande en una sola dirección en ángulo recto respecto a la línea de la hendidura, en filamentos que tienen un movimiento vermicular, de ahí su nombre. Durante este proceso, su volumen aumenta hasta 16 veces.

El material final tiene una estructura de pequeñas láminas con reflejos metálicos, de color pardo (ilustración 56), con baja densidad y elevada porosidad.

Con la vermiculita, las distintas granulometrías conceden una densidad u otra y sirven de clasificación en su comercialización:

- “vermiculita 1” de granulometría 0,5 / 2 mm posee una densidad de 45 – 60 kg/m³ → $\lambda=0,040$ W/mk
- “vermiculita 2” con granulometría 0,5 / 3 mm y densidad 105 – 125 kg/m³ → $\lambda=0,052$ W/mk

¹¹⁸ Aspecto de la vermiculita exfoliada. En: Futura.sciences [web] Francia: Futura.sciences, 2016 [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: http://fr.cdn.v5.futura-sciences.com/sources/images/dossier/rte/magic/5397_Figure-21.jpg

Vermiculita

- “vermiculita 3” de granulometría entre 1 / 4 mm y densidad 105 – 125 kg/m³ → $\lambda=0,052$ W/mk
- “vermiculita 4” de granulometría entre 2 / 6 mm y densidad 100 – 120 kg/m³ → $\lambda=0,052$ W/mk

Todos estos tipos de vermiculita se presentan en sacos de 125l.



Ilustración 57 Vermiculita exfoliada, granulometrías. Fuente:vermiculitayderivados¹¹⁹

En su forma expandida se emplea como aglomerante en morteros aislantes y hormigón ligero, aislamiento en relleno de cámaras, ladrillo refractario, recreado de soleras, prefabricados aislantes y ligeros, revoque aislante acústico y térmico (mezclado con escayola), protector contra el fuego de estructuras, aislamiento de hornos industriales, en agricultura, horticultura y ganadería.

Para su manipulación, debemos emplear gafas, guantes y mascarilla, ya que el polvo puede causar irritación en los ojos, produce sequedad en la piel e irritación por su inhalación. El trabajo con este material puede producir enfermedades del aparato respiratorio como neumoconiosis debidas al polvo de los silicatos, según la lista europea de enfermedades profesionales (número 301.31)¹²⁰.

¹¹⁹ [Vermiculita exfoliada, granulometrías] En: Verlite. *Proceso productivo* [en línea] España: Vermiculita y derivados, S.L.; 2016 [Consulta: 7 de junio de 2016] Disponible en: http://www.vermiculitayderivados.com/wp-content/uploads/2015/11/vermiculita_exfoliada2.jpg

¹²⁰ CE. *Recomendación de la Comisión, de 19 de septiembre de 2003, relativa a la lista europea de enfermedades profesionales*. [en línea] Bruselas: CE, 2003 [consulta: 6 de junio de 2016] Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003H0670:ES:HTML>
Bruselas. *Recomendaciones de la comisión de 19 de septiembre de 2003 relativa a la lista europea de enfermedades profesionales*. [En línea] Bruselas: CE, 25 de septiembre de 2003 [consulta: 6 de junio de 2016] Disponible en: <https://www.boe.es/boe/2003/238/L00028-00034.pdf>

3.16.3 Impacto medioambiental

Debemos tener en cuenta los efectos de su extracción sobre el medioambiente, ya que se hace en minas a cielo abierto.

Una vez finalizados los trabajos de extracción en las canteras se desarrollan planes de reforestación realizados por las empresas. Aunque el uso de suelo es la principal causa directa de muchos de los impactos de los sistemas de producción. La actividad minera que ofrece un mayor impacto en el medio ambiente es la explotación superficial o a cielo abierto.¹²¹

Los impactos derivados de la creación de este tipo de canteras pueden ser, entre otros:

- ⊕ Daños sobre la flora y la fauna de las regiones donde se sitúan, ya que se modifica el ecosistema que habitan.
- ⊕ La generación de ruidos y vibraciones, lo que provoca el desplazamiento de los animales de la zona.
- ⊕ Derrames de aceites y/o combustibles.
- ⊕ Degradación de las aguas superficiales debido a la erosión del suelo en las áreas alteradas.
- ⊕ Contaminación de las aguas superficiales y freáticas (acuíferos) debido a las aguas drenadas de la mina.
- ⊕ Degradación de la calidad del aire y visibilidad a causa de las partículas atmosféricas (voladura, tráfico)

	Vm fabricantes ρ(kg/m ³)	ρ(kg/m ³) ITeC	e(mm)	COSTE ENERGÉTICO MJ/kg	EMISIONES CO ₂ kgCO ₂ /kg
ITeC	56,5-115	85-90	x	396,38	12,25
FIVE	x	x	x	5-20	x
Libro ¹²²	x	x	x	1,912	x

Tabla 66 Coste energético de la fabricación de vermiculita¹²³

¹²¹ GARRAÍN, Daniel; et al. *Impacto medioambiental sobre el uso del suelo de las minas de extracción de materias primas cerámicas en el marco del análisis del ciclo de vida* [en línea] Grupo de Ingeniería del Diseño, Dpto. Ingeniería Mecánica y Construcción, Unicersitat Jaume I. Disponible en: <http://www.gid.uji.es/>

¹²² SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

¹²³ **Vm fabricantes** → valores medios de densidad proporcionados por fabricantes (ver gráficos 10 y 11)

ρ(kg/m³) → densidad teórica (ver datos de la tabla 116)

ρ(kg/m³) ITeC → densidad aproximada al valor anterior proporcionada por ITeC

3.16.4 Valorización

La vermiculita es un material reutilizable y reciclable en sectores como la agricultura, horticultura y ganadería.

3.16.5 Propiedades

Su punto de fusión está entre los 1.200 y los 1.300°C.

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitat
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	x	x	x	0,060	0,061
Densidad	kg/m3	x	x	30-150	60-140	60-140
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1080	1000-1080	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	x	x	2-3	2-3	x
Coef. Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	A	A1
Precios	€/m3	x	90-100	x	x	x

Tabla 67 Propiedades de la vermiculita. Precios

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS	
		Vermiculita y derivados	Perlindustria 2000
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,062-0,065	x
Densidad	kg/m3	70-110	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	840	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)		x	x
Coef. Dilatación térmica	m3	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	A	x
Precios	€/m3	100-150	≈139

Tabla 68 Propiedades de la vermiculita según fabricantes. Precios

3.16.6 Fabricantes

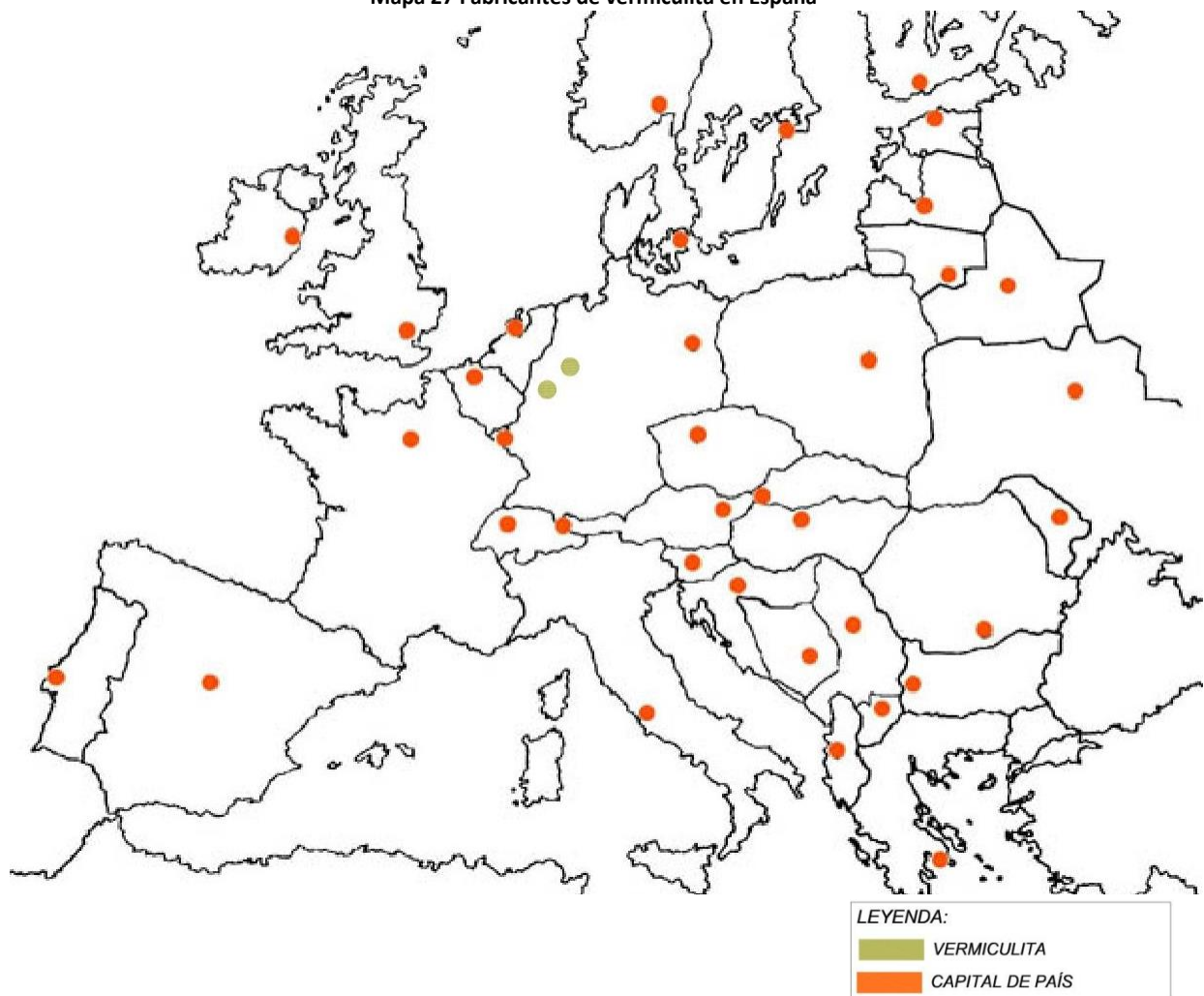
MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Vermiculita	Vermiculita y derivados, S.L. (Verlite)	España	Gijón (Asturias)	C/ Ingeniero Isidoro Clausel nº2 al 10, 33211 Tel.: +34 985 301 165 e-mail: vermiculitayderivados@vermiculitayderivados.com
	Perlita y vermiculita	España	Barcelona	Polígono Can Prunera C/Garraf s/n 08759 Vallirana Tel.: +34 93 683 4400 e-mail: info@perlityvermiculita.com
			Madrid	C/ Isaac Peral 12, 6ºC 28015 Tel.: +34 91 543 04 92
			Bilbao	Polígono Industrial Asua Berri Ctra. Cantera Pab. 118-119; 48950 Asua-Ernadio (Bizcaia)
		Francia	Lognes	7 Mail Barthélémy Thimonnier 77185; Tel.: +33 1 60 06 55 66 e-mail: abdelmohsen@carboline.com
		Alemania		Dipl.-Wirtschaftsingenieur Vertreter; Tel.: +49 2156 775 8823 e-mail: rjovino@perlindustria.com
		Polonia	Warszawa	ul. Preclawska 5; Tel.: +48 (22)6785502 e-mail: mgierej@carbolina.pl
		Portugal	Mortágua	Rua António Maurício Manriques, 5; Vale de Acores 3450-206 Mortágua Tel.: +351 231927480 e-mail: geral@tria.pt
	Perlindustria 2002	España	Barcelona	Polígono Can Prunera s/n 08579 Vallirana Tel.: +34 93 683 4400 e-mail: info@perlindustria.com
	Rheinische vermiculita GmbH	Alemania	Dusseldorf	Trippelsberg 71 - 40589 Tel.: +49 (0) 211 9 79 43-0 www.rheinische-vermiculite.de
	Normag GmbH	Alemania		Saalebstrabe 155 - 61350 Bad Homburg vdH Tel.: +49 6172 9306-0 - e-mail: info@normag.de
	Vermiculite	Alemania	Sprockhövel	Poststrabe 34 - 45549 - Tel.: +49 2339/23 49 - e-mail: info@vermiculite.de

Tabla 69 Fabricantes de vermiculita en España y Europa

Vermiculita



Mapa 27 Fabricantes de vermiculita en España



Mapa 28 Fabricantes de vermiculita expandida en Europa

3.17. Vidrio celular

3.17.1 Naturaleza y composición

El vidrio es un material duro y generalmente translúcido o transparente que resulta de la solidificación de la mezcla fundida de arenas silíceas, cal y carbonato de sodio o de potasio, que tienen una función vitrificante, fundente y estabilizante, respectivamente. Los componentes básicos de este material son:

COMPONENTES	%
Vidrio reciclado	68,6
Feldespatos	21,8
Carbonato sódico	3,9
Óxido de hierro	2,3
Óxido de magnesio	2,2
Carbono	0,5
Sulfato de sodio	0,5
Nitrato de sodio	0,2

Tabla 70 Componentes básicos del vidrio celular. Fuente: Foamglas¹²⁴

Es un material mal conductor del calor y de la electricidad. Resiste los agentes químicos ordinarios y es atacado por el ácido fluorhídrico.

Con el polvo de vidrio se fabrica un aislamiento empleado en construcción y que se conoce como vidrio celular.

3.17.2 Proceso de fabricación

La materia prima empleada en la fabricación del vidrio celular es el vidrio de postconsumo que proviene fundamentalmente de lunas de automóviles y otros vidrios de ventanas. Este requiere de un pretratamiento. En concreto, debe purificarse convenientemente, ya que viene acompañado de residuos de metal, plástico, corcho, etc.

En la planta el casco de vidrio entra a los alimentadores vibratorios, que lo llevan desde la parte inferior de las fosas o tolvas de descarga a una quebrantadora de martillos. De la quebrantadora, el vidrio molido pasa por medio de un alimentador vibratorio y de una cinta transportadora a un separador magnético provisto de potentes imanes permanentes para separar

¹²⁴ Foamglas. *Environmental Product Declaration according to ISO 14025* [en línea] Alemania: Deutsches Institut Bauen und Umwelt e.V. (DIBU), 2013 [consulta: 7 junio 2016] Disponible en: http://www.foamglas.es/_/frontend/handler/document.php?id=2424&type=42

los trozos de hierro. Sobre otra cinta transportadora, a la salida del separador magnético, se pueden ubicar equipos para eliminar las tapas de aluminio y otras impurezas por un sistema de soplado. Finalmente, el vidrio molido pasa a una máquina lavadora, donde se lava con agua caliente y agitación; a la salida de la misma, se separa del agua por decantación y mediante un elevador se almacena en un silo.

A continuación, el vidrio limpio va a unas tolvas donde se procesa por lotes, introduciendo la materia prima y feldespatos. A continuación, el polvo molido y los feldespatos se colocan en moldes y se introducen en el horno de electrodo (la aplicación de energía a través de electrodos permite una homogénea masa fundida), donde se llegan a temperaturas de 1250°C. Cuando la masa fundida se haya enfriado y solidificado (ilustración 58¹²⁵) es molida finamente de nuevo



Ilustración 58 Bloque de vidrio celular. Fuente: Foamglass

utilizando cilindros de corindón. Parte del vidrio reciclado se puede moler directamente para la formación de espuma, sin un proceso de fusión adicional con la masa fundida nombrada antes. Se mezcla con polvo de tierra; esta mezcla de polvo se vuelve a procesar por lotes para introducirla a un horno a temperatura de 850 ° C donde se convertirá en un material poroso, una espuma. Estos bloques de espuma se enfrían en un horno de aplanamiento en un proceso controlado evitando estrés por temperatura y discontinuidades o grietas resultantes. Más tarde se cortan y se pulen y se empaquetan los bloques.

¹²⁵ Bloque de vidrio celular. En: foamglass [web] España: Foamglas building [consulta: 7 junio 2016] Disponible en: http://www.foamglas.es/_/frontend/handler/image.php?id=405&width=640&height=480 en <http://www.foamglas.es/es/productos/produccinfabricacin/>

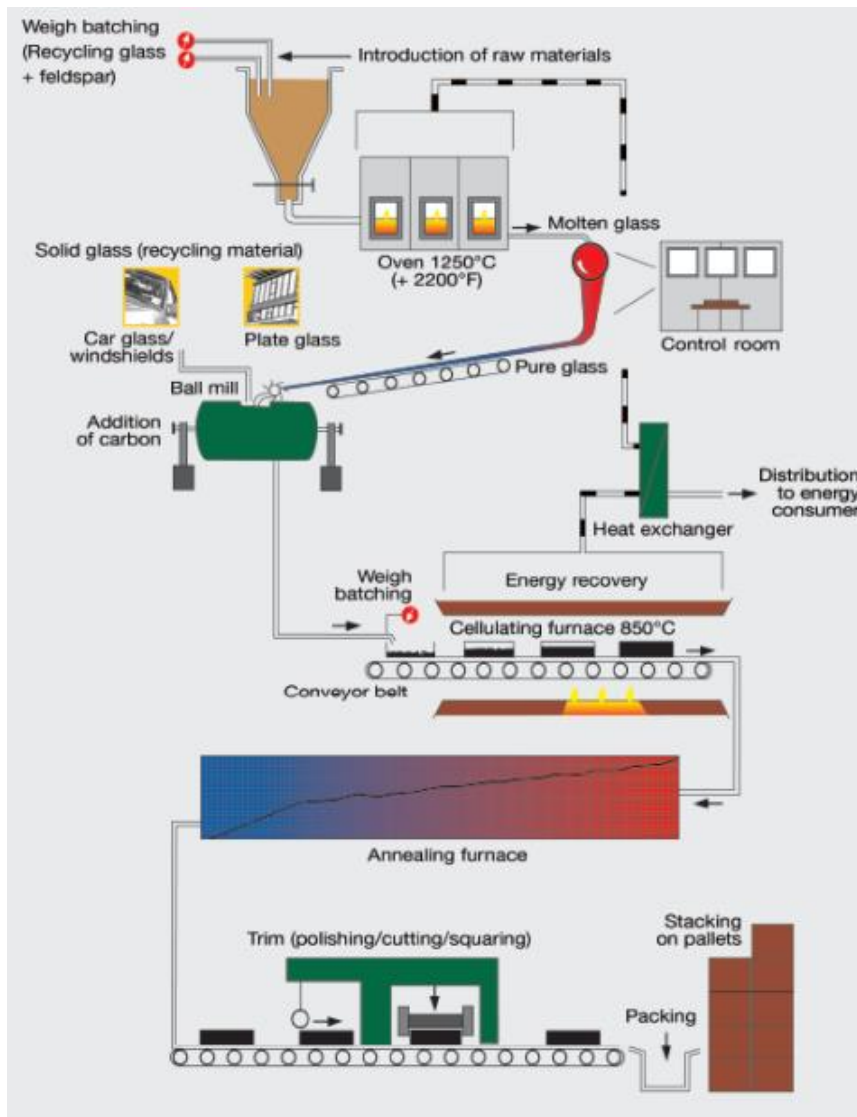


Ilustración 59 Proceso de fabricación del vidrio celular. Fuente: Foamglas¹²⁶

Existen dos tipos de vidrio celular: en formato de placas rígidas y en bolas vítreas. Es empleado en forma de placas como aislamiento térmico (muros, techos, suelos, etc), contra humedad o contra el fuego y como acabado de un falso techo. El primero, de color negro, se utiliza directamente sin que sea necesaria la creación de cámaras, únicamente un acabado superficial como puede ser un guarnecido de yeso. Normalmente, se presenta en placas de 450x300 mm y en espesores de 13, 20, 30 y 40 mm. El de falso techo puede tener un acabado en color blanco, azul, beige, salmón y verde, ya que se emplea mayoritariamente en la creación de techos desmontables simplemente colocándolo con una perfilera adecuada. Las placas pueden ser de 595x595x16 mm o 1195x595x16 mm.

¹²⁶ Foamglas. *Environmental Product Declaration according to ISO 14025* [en línea] Alemania: Deutsches Institut Bauen und Umwelt e.V. (DIBU), 2013 [consulta: 7 junio 2016] Disponible en: http://www.foamglas.es/_frontend/handler/document.php?id=2424&type=42



Ilustración 60 Vidrio celular. Fuente: Mimbrea¹²⁷

3.17.3 Impacto medioambiental

Se lleva a cabo la valorización de un residuo/subproducto (vidrio de postconsumo). Adicionalmente, con ello se consigue disminuir la extracción de materias minerales y el impacto asociado.

El coste del transporte desde el proveedor de la materia prima hasta la fábrica disminuye en función de la proximidad entre el proveedor y la fábrica.

También debemos tener en cuenta las emisiones de CO₂ producidas por los hornos que llegan a 1300°C. Además los fabricantes, tienen procurar tratar el agua que emplean y volverla incorporar al proceso de producción para así provocar el menor impacto posible.

El proceso de producción también produce emisiones directas de NO_x y SO_x que contribuye a la acidificación. El resto de las emisiones acidificantes están conectadas a la producción de energía térmica. Con respecto a las materias primas, la mayoría de las emisiones acidificantes han de atribuirse a la extracción de Soda, manganeso y óxidos ferrosos. El 50% del potencial de eutrofización es causada por extracción de materias primas (nitrato de sodio principalmente), así como el suministro de energía térmica a partir de gas natural. El potencial de creación de ozono fotoquímico se atribuye en gran parte a los procesos de producción (suministro de energía). Teniendo en cuenta extracción de materias primas, óxido de hierro, caolín y soda son predominantes con 42-50% de la contribución.¹²⁸

¹²⁷ [Vidrio celular] En: Mimbrea [web] [S.l.]: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. [ca. 2014] [consulta: 14 de febrero de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/materiales-aislantes-fabricados-con-productos-recicladosp>

¹²⁸ Foamglas. *Environmental Product Declaration according to ISO 14025* [en línea] Alemania: Deutsches Institut Bauen und Umwelt e.V. (DIBU), 2013 [consulta: 7 junio 2016] Disponible en: http://www.foamglas.es/_frontend/handler/document.php?id=2424&type=42

En la siguiente imagen podemos ver los impactos medioambientales de dos productos de la empresa Foamglas, W+F (warm roofing systems o sistemas de cubiertas calientes) y Perinsul and Perinsul SL (para requisitos especiales -suelos de tanques, contenedores o aislamiento de puentes térmicos:

FOAMGLAS® slabs and pre-cut shapes (cradle to gate)							
Results for: W+F (100 kg/m³) and Perinsul (200 kg/m³)	Unit	W+F Unit/m³	Perinsul SL Unit/m³	W+F Unit/kg	Perinsul SL Unit/kg	W+F R=2m²K/W Unit/m²	Perinsul SL R=2m²K/W Unit/m²
PE, non renewable	[MJ]	1525,9	3049,22	15,26	15,25	115,97	335,41
PE, renewable	[MJ]	920,6	1725,24	9,21	8,63	69,97	189,78
PE, non renewable	[kWh]	423,9	847,0	4,24	4,24	32,21	93,17
PE, renewable	[kWh]	255,7	479,2	2,56	2,40	19,43	52,72
Global warming (GWP)	[kg CO ₂ -Eqv.]	109,23	212,22	1,09	1,06	8,30	23,34
Ozone depletion (ODP)	[kg R11- Eqv.]	$0,74 \cdot 10^{-6}$	$1,72 \cdot 10^{-6}$	$7,40 \cdot 10^{-9}$	$8,60 \cdot 10^{-9}$	$56,2 \cdot 10^{-9}$	$0,19 \cdot 10^{-6}$
Acidification (AP)	[kg SO ₂ - Eqv.]	0,208	0,411	$2,08 \cdot 10^{-3}$	$2,06 \cdot 10^{-3}$	0,016	0,045
Eutrophication (EP)	[kg PO ₄ ³⁻ - Eqv.]	0,023	0,046	$0,23 \cdot 10^{-3}$	$0,23 \cdot 10^{-3}$	$1,75 \cdot 10^{-3}$	$5,06 \cdot 10^{-3}$
Summersmog (POCP)	[kg Ethen- Eqv.]	0,019	0,036	$0,19 \cdot 10^{-3}$	$0,18 \cdot 10^{-3}$	$1,44 \cdot 10^{-3}$	$3,96 \cdot 10^{-3}$

(Explanation of abbreviations: PE: Primary energy; GWP: Global Warming Potential, ODP: Ozone depletion potential; AP: Acidification potential; EP: Eutrophication potential; POCP: Photochemical oxidant formation)

Tabla 71 Impacto medioambiental de losas y formas precortadas. Fuente: Foamglas¹²⁹

En la siguiente tabla se muestran los consumos de electricidad y gas natural necesarios para la fabricación de 1 kg de FOAMGLAS T4+¹²⁹:

Energy carrier	per kg T4+
Natural gas	0,30 Nm³ (9,8 MJ)
Electricity hydropower (NO)	1,175 kWh

Tabla 72 Energía necesaria para fabricar 1 kg de FOAMGLAS T4+. Fuente: Foamglas¹²⁹

¹²⁹ Foamglas. *Environmental Product Declaration according to ISO 14025* [en línea] Alemania: Deutsches Institut Bauen und Umwelt e.V. (DIBU), 2013 [consulta: 7 junio 2016] Disponible en: http://www.foamglas.es/_frontend/handler/document.php?id=2424&type=42

Vidrio celular

	Vm fabricantes			COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2
	$\rho(\text{kg/m}^3)$	$\rho(\text{kg/m}^3)$ ITeC	e(mm)	MJ/kg	kgCO2/kg
ITeC	150,00	157	20	45,83	3,43
	150,00	157	40	91,66	6,86
FIVE (Placas rígidas)	150,00	170	20	10-75	x
	150,00	170	40		x
	150,00	100	110		x
Libro ¹³⁰	x	x	x	8,6076	x
Foamglas	x	x	x	69,97	8,30

Tabla 73 Coste energético de la fabricación del vidrio celular¹³¹

3.17.4 Valorización

Una vez finalizada su vida útil como aislamiento, se puede reutilizar o reciclar como aislante granular o para jardinería.

3.17.5 Propiedades

Se comporta bien bajo carga, pero también es muy quebradizo y susceptible a los choques térmicos y a temperaturas altas.

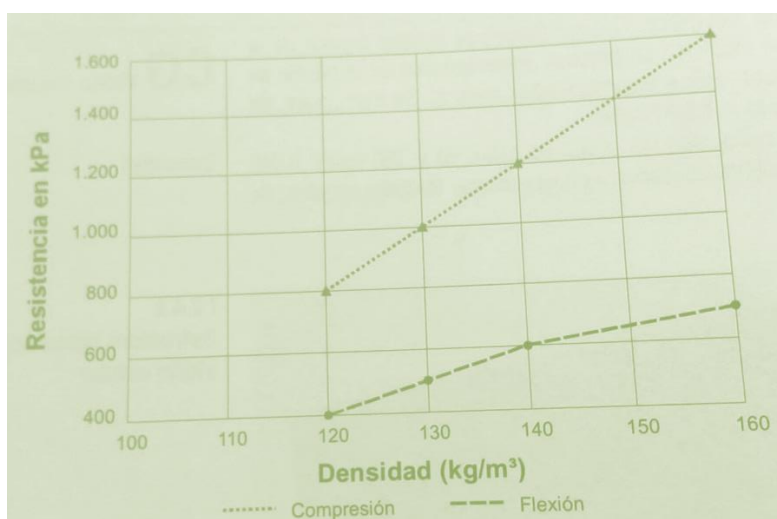


Ilustración 61 Relación entre densidad y resistencias del vidrio celular. Fuente: Pastor, 2012¹³²

¹³⁰ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

¹³¹ Vm fabricantes → valores medios de densidad proporcionados por fabricantes (ver gráficos 10 y 11)

$\rho(\text{kg/m}^3)$ → densidad teórica (ver datos de la tabla 116)

$\rho(\text{kg/m}^3)$ ITeC → densidad aproximada al valor anterior proporcionada por ITeC

λ (W/m.k) → Conductividad térmica proporcionada por ITeC

Vidrio celular

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitar
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,035-0,055	x	x	0,040	0,048
Densidad	kg/m3	x	x	100-150	90-180	170
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1000	840	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)		∞	x	∞	85000	∞
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	85×10^{-7}
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	nula	0
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	A1	A1

Tabla 74 Propiedades del vidrio celular

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS	
		POLYDROS	FOAMGLAS
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,038-0,050	0,038-0,058
Densidad	kg/m3	110-170	100-200
Calor específico (Cp)	J/kg.k	840	840
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)		85000- ∞	∞
Coef. Dilatación térmica	K ⁻¹	x	$8,5 \times 10^{-6}$
Capacidad higroscópica	%en peso	Nula	x
Reacción al fuego	Euroclases	A1	A
Precios	E/m3	15-50	15-30

Tabla 75 Propiedades del vidrio celular según fabricantes. Precios

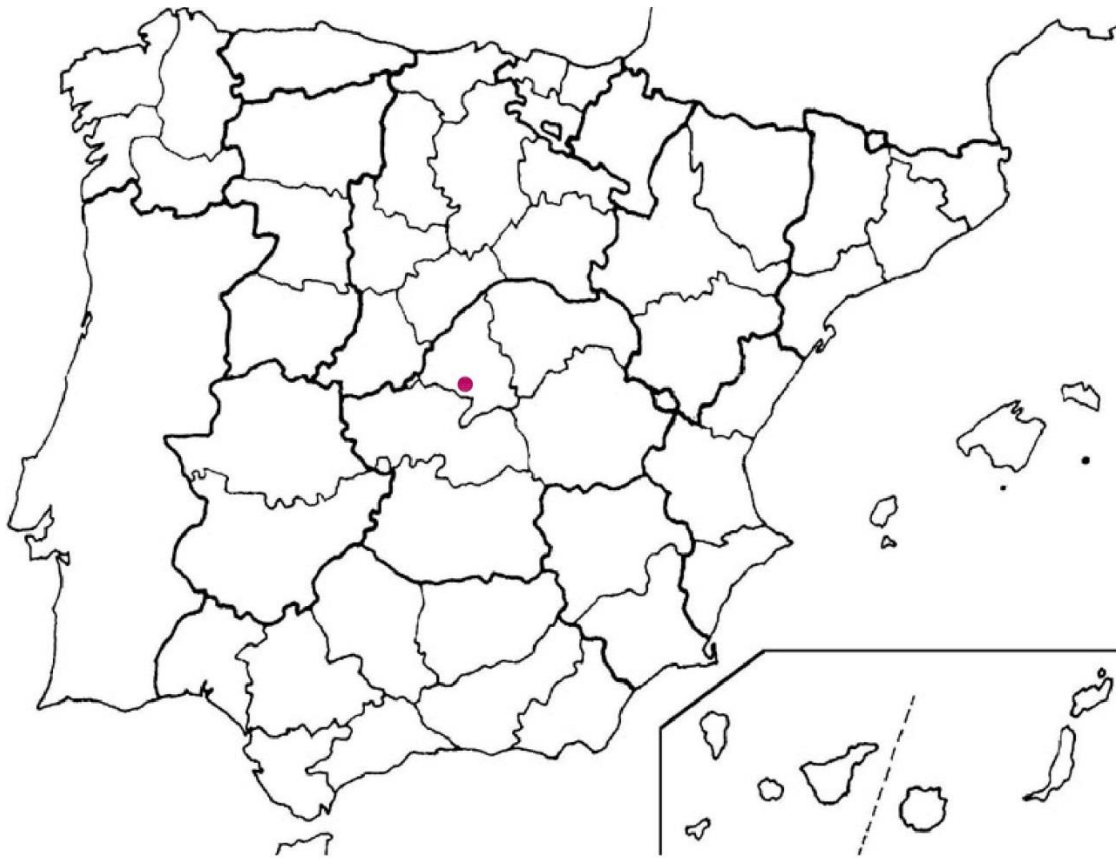
3.17.6 Fabricantes

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Vidrio celular	Polydros, S.A.	España	Madrid	Alcobendas Tel.: +34 916 610 042 - e-mail: info@polydros.es - www.polydros.es
	Foamglass	España	Madrid	Calle Real, 33, Portal 11 1, 28250, Torreldones Tel.: +34 91 859 21 48 - e-mail: madrid@foamglas.es - www.foamglas.com

Tabla 76 Fabricantes vidrio celular en España

¹³² PASTOR JUAN, Alfonso. *Dossier: Aislantes térmicos en la edificación. Materiales. Exigencias normativas. Directorios*. Alicante: Stampa Edición Digital, S.L. 2012, 72p. ISBN 978-84-938147-2-4

Vidrio celular



Mapa 29 Fabricantes de vidrio celular en España

3.18. Espumas

La materia prima de estos materiales es el petróleo. La problemática medioambiental de esta materia es conocida por todos; desde su extracción hasta su tratamiento industrial, pasando por los habituales y excesivos derrames que se producen al transportarlo hasta las refinerías. De cualquier forma, sólo el 4% de la producción de petróleo se utiliza para fabricar materiales sintéticos.

Las espumas, también llamadas sólidos celulares tridimensionales, están constituidas generalmente por un mínimo de dos fases, la matriz sólida y la fase gas la cual se encuentra dispersa en la matriz. Las espumas se fabrican formando una emulsión por agitación violenta. Se obtiene una masa espumosa estable, que se vierte en una cavidad o en un molde, en donde se modifica bajo la acción de un catalizador y de calor.

Las espumas están compuestas por celdas en cuyo interior se encuentra la fase gas. Si las celdas no presentan paredes se consideran celdas abiertas y si las presentan, cerradas. El tipo de celdas que presenta un material celular es crucial para su aplicación. Por ejemplo, en caso de que se requiera un material para su aplicación como aislante las celdas de la espuma deberán ser cerradas, ya que de este modo la conductividad térmica del material es menor. En caso de que la espuma se vaya a emplear como aislante acústico se requiere un material con celdas abiertas, ya que así se facilita la absorción de ruido

Se sabe que la conductividad térmica de los materiales de aislamiento térmico poliméricos puede cambiar con el tiempo. Este fenómeno está provocado por la difusión gradual de gas desde el interior de las celdas de espuma. El gas presente dentro de las celdas de espuma tiene su origen en el agente de soplado usado en el proceso de formación de espuma. Este gas en las celdas de espuma se sustituye lentamente por el aire de la atmósfera.

Las espumas se pueden clasificar en tres grandes grupos según el material que constituya su matriz: las espumas metálicas, las cerámicas y las poliméricas. Como se observa en la ilustración, todos los materiales en forma de espuma presentan una menor densidad, conductividad térmica y propiedades mecánicas que los materiales sólidos, lo que se debe a la incorporación de la fase gas. Las espumas cerámicas y metálicas muestran densidades, conductividades y propiedades mecánicas mayores a las de las espumas poliméricas debido a las propiedades que ofrecen los materiales sólidos de partida por sí solos.

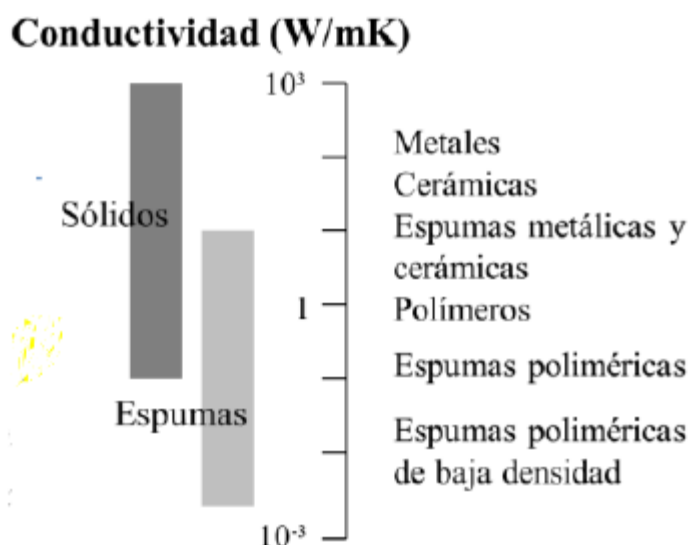


Ilustración 62 Conductividad térmica de los materiales sólidos y de sus correspondientes espumas. Fuente: Belén del Saz-Orozco Rodríguez¹³³

Las espumas que vamos a tratar en este trabajo están en el grupo de las espumas poliméricas que son los materiales celulares más comunes; presentan celdas cuyos bordes y paredes se componen por un polímero. El proceso de formación de las espumas poliméricas se puede dividir en tres etapas. En la primera etapa tiene lugar la formación de las burbujas de gas; en la segunda se produce el crecimiento de las mismas y en la última éstas se estabilizan. La siguiente ilustración se puede ver el proceso de formación de las espumas poliméricas.

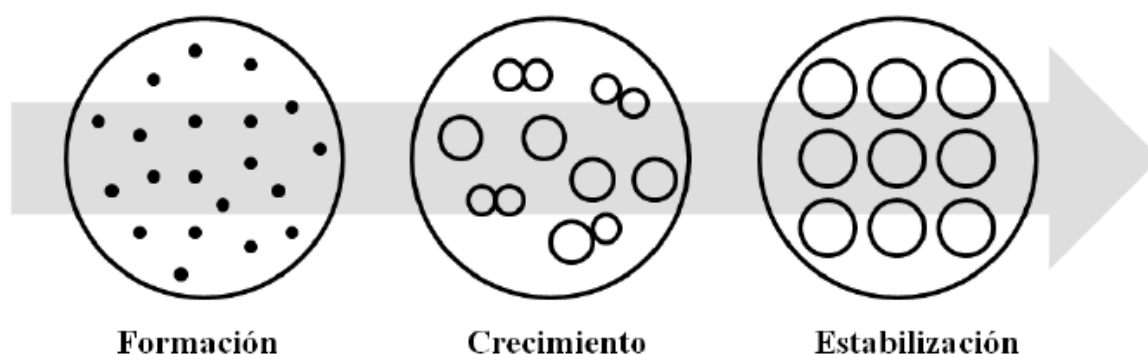


Ilustración 63 Proceso de formación de las espumas poliméricas. Fuente: Belén del Saz-Orozco Rodríguez¹³⁴

Las etapas en la formación de las espumas poliméricas son las mismas en el caso de ser espumas de celdas cerradas o abiertas. En función de las condiciones de operación y los

¹³³ DEL SAZ-OROZCO RODRÍGUEZ, Belén. *Formulación y caracterización de espumas fenólicas tipo resol reforzadas con lignosulfonato cálcico y con partículas de "pinus radiata"* [tesis doctoral en línea] Mercedes Oliet Palá y María Virginia Alonso Rubio, dir. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Químicas, 2013 [consulta: 16 junio 2016] Disponible en: <http://eprints.sim.ucm.es/23809/1/T34964.pdf>

¹³⁴ Idem referencia anterior, pág. 41.

componentes empleados en su producción, las espumas obtenidas serán de celdas abiertas o cerradas.

El comportamiento mecánico de las espumas poliméricas depende de la temperatura de transición vítrea del polímero que las constituye. De este modo, según su comportamiento elástico las espumas poliméricas pueden ser flexibles, semiflexibles, semirrígidas y rígidas dependiendo de si su temperatura de transición vítrea se encuentra por encima o por debajo de la temperatura ambiente. Las espumas flexibles o semiflexibles muestran una temperatura de transición vítrea por debajo de la temperatura ambiente. Se emplean en la industria del transporte, del mueble, textil, del calzado, en la fabricación de embalajes, de juguetes, de juntas, de material deportivo y como aislamiento acústico. Las espumas rígidas, las cuales presentan su temperatura de transición vítrea por encima de la temperatura ambiente, se utilizan, por ejemplo, como aislantes en la industria de la construcción, en tuberías y tanques, en la industria del transporte, decoración de interiores, etc.

Es importante, también, hacer mención sobre la relación que hay entre la conductividad térmica, la densidad y la morfología en estos materiales. La conductividad térmica está relacionada con la densidad de los materiales celulares y con su morfología. Cuanto menor sea la densidad de la espuma menor será su conductividad térmica. La disminución de la densidad de una espuma polimérica lleva consigo un incremento de la relación entre la fase gas y la fase sólida presentes en el material. Dado que la conductividad de la fase gas es mucho menor que la de la fase sólida, un mayor contenido de la fase gas dará lugar a conductividades térmicas menores.

La conductividad térmica de las espumas poliméricas disminuye conforme lo hace su tamaño de celda, ya que existe un menor número de caminos para la transferencia de calor por convección y radiación. En la ilustración se puede ver el flujo de calor en espumas con distintos tamaños de celda.

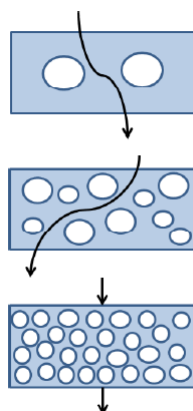


Ilustración 64 Flujo de calor en espumas poliméricas con distintos tamaños de celda. Fuente: Belén del Saz-Orozco Rodríguez¹³⁵

¹³⁵ Idem referencia 124, pág. 49.

Cuanto mayor es el contenido de celdas abiertas en las espumas poliméricas, más alta es su conductividad térmica, ya que se facilita la difusión del calor. Por lo tanto, una espuma polimérica presentará una mayor eficiencia como aislante térmico cuanto más pequeño sea el tamaño de las celdas que constituyan su estructura y menor sea el número de celdas abiertas que presente.

Por otro lado, los polímeros empleados para la fabricación de espumas poliméricas se pueden clasificar en termoestables, termoplásticos y elastómeros. Entre las espumas aislantes hablaremos de la espuma de **poliuretano, poliisocianurato, fenólica, urea-formol, elastomérica, polietileno, polipropileno, polietileno y melamina.**

Termoplásticos	PE	Polietileno
	LDPE	Polietileno de baja densidad
	HDPE	Polietileno de alta densidad
	PS	Poliestireno
	PP	Polipropileno
	PMMA	Polimetilmetacrilato
	PVC	Polivinilcloruro
	PC	Policarbonato
	PA	Poliamida (nylon)
	PVDF	Polifluoruro de vinilideno
	PTFE	Politetrafluoroetileno
	PET	Polietilentereftalato
Termoestables	EP	Epoxi
	UP	Poliéster insaturado
	PUR	Poliuretano
	PF	Fenólico
Elastómeros	NR	Caucho natural
	BR	Polibutadieno
	IR	Poliisopreno sintético
	CR	Policloropreno
	BUTYL	Caucho de butilo
	PIB	Poliisobutileno

Ilustración 65 Polímeros para la fabricación de espumas poliméricas. Fuente: Belén del Saz-Orozco Rodríguez¹³⁶

La resistencia al fuego de los polímeros es un aspecto importante que tratar en este trabajo. La inflamabilidad de los polímeros es una característica del máximo interés, sobre todo en la fabricación de textiles, de juguetes para niños, etc. Por tanto, es fundamental que tengan una buena resistencia de llama. La mayoría de los polímeros, en estado puro son inflamables, a excepción de los que contienen elevada proporción de cloruros y/o fluoruros, tales como los cloruros de polivinilo y politetrafluoretileno.

¹³⁶ Idem referencia 124, pág. 52.

La resistencia a la inflamabilidad de los polímeros combustibles aumenta adicionando aditivos denominados ignífugos (o retardadores de llama). Estos aditivos funcionan de maneras diferentes bien interfiriendo el proceso de combustión mediante una fase gaseosa, bien alterando el mecanismo normal de degradación térmica, favoreciendo un proceso de baja energía consistente en una reacción química que enfría la región de combustión y cesa el fuego, lo que conduce a la carbonización o formando un recubrimiento protector para aislarlo de la energía térmica.

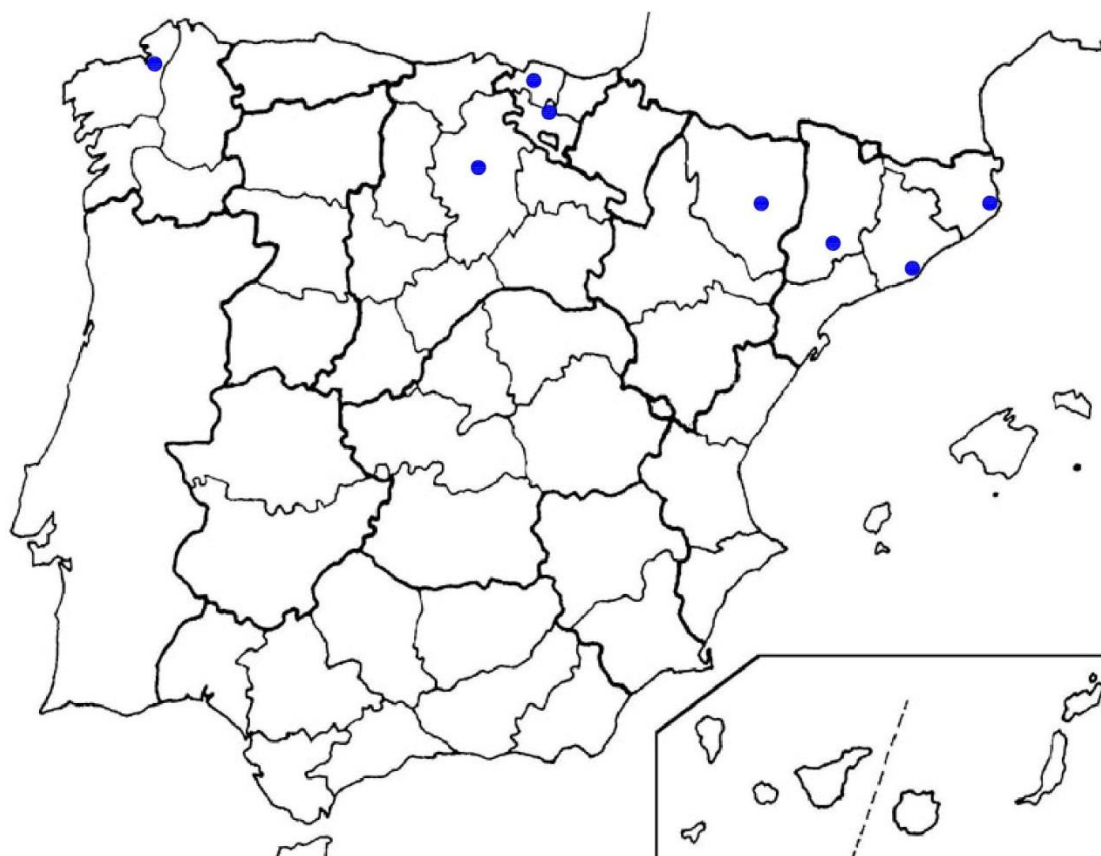
Para el proceso de combustión es necesario que haya oxígeno, combustible y alta temperatura. Por tanto, los polifluorocarbonos, fosfacenos y algunos materiales compuestos tienen propiedades de retardo de llama porque son malos combustibles. Rellenos como el trihidrato de alúmina (ATH) desprenden agua al calentarse y, por tanto, reducen la temperatura de combustión. Compuestos como el carbonato de sodio, que desprenden dióxido de carbono, aíslan los reactivos del oxígeno. La carbonilla que se forma en algunos procesos de combustión, también aísla a los reactivos del oxígeno y retrasa la difusión de productos volátiles combustibles hacia el exterior. Los polímeros aromáticos tienden a formar carbonilla, y algunos compuestos de boro y fósforo catalizan la formación de carbonilla.

Antes de usar materiales polímeros con retardadores de llama debemos informarnos adecuadamente de sus efectos tóxicos, ya que, como muchos otros compuestos orgánicos, pueden ser tóxicos o producir gases tóxicos al quemarse.

Espumas

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Espumas aislantes	Armacell Iberia, S.L.	España	Girona	Pol. Ind. Riera d'Esclanyá - C/ Can Magí, 1 - 17213 Esclanyá - Begur
	L'isolante k-flex España, S.A.	España	Barcelona	C/ Energía, 63-65 Pol. Ind. Nor Est. 08740 Sant Andreu de la Barca Tel.: +34 902 443 444 e-mail: info@k-flex.es
	Overseas Constellation Company, S.A.	España	Burgos	C/ Condado de Treviño 45 - Pol. Ind. Villalonquejar - 09001 Tel.: +34 947 298 000 e-mail: infotec@okcompanysa.com
			Lleida	Pol. Ind. La Serra II - parcelas 3 a 7 - 25320 Anglesola
	Kaefer	España	Bilbao	Pol. Ind. Achúcarro, Nave 1 - 48480 Arrigorriaga - Vizcaya Tel.: +34 94 6714397
			Coruña	Pol. Ind. Arco Iris, Nave 4 Este - 15168 Sada - Tel.: +34 981611613

Tabla 77 Fabricantes de espumas aislantes en España



Mapa 30 Fabricantes de espumas en España

3.19. Espuma de urea-formol

3.19.1 Naturaleza y composición

Las patentes de resinas termoestables duras y transparentes basados en urea y formaldehído se les concedió a los químicos alemanes y británicos en la década de 1920. En 1925 la British Cyanides Company, Ltd., (ahora British Industrial Plastics, Ltd.) presentó una mesa de luz irrompible hecha de su resina urea-formaldehído bajo la marca registrada Beetle, y en dos años, la American Cyanamid Company había adquirido los derechos para producir Beetleware en los Estados Unidos. Clara en su estado puro, la urea-formaldehído podría fortalecerse con celulosa y teñirse con pigmentos numerosos para hacer artículos de luz duros, coloridos y translucidos para el hogar y la cocina. Su resistencia a muchos productos químicos lo hacía adecuado para frascos de cosméticos y otros recipientes, y su resistencia eléctrica deseable para productos tales como tomacorrientes de pared y placas de interruptores.

El aislamiento de espuma de urea-formaldehído (UFFI) comenzó a ser utilizado en la década de 1970. El formaldehído es un compuesto orgánico volátil (COV), lo que quiere decir que se vaporiza desde el aislante al interior de las viviendas, originando niveles elevados de formaldehído en el interior. Actualmente, el uso de UFFI como aislante en viviendas es muy raro, pero se puede hallar en edificios viejos. En la década de 1980, las preocupaciones comenzaron a desarrollarse sobre el vapor de formaldehído tóxico emitido en el proceso de curado, así como por la descomposición de la espuma con el tiempo.

Las resinas de urea-formaldehído son una clase de polímeros de condensación que se emplean como resinas sintéticas obtenidas a través de la reacción entre la urea (un cristal sólido que se obtiene a partir de amoníaco) y del formaldehído (un gas altamente reactivo obtenido a partir de metanol), que suele estar catalizada por cloruro de amonio.

Las espumas de urea-formol son espumas rígidas que tienen el 98% de las células abiertas. Por lo que son muy permeables al aire. En general, es preferible colocarlas in situ (contracción del 3%).

3.19.2 Proceso de fabricación

La espuma urea-formol está clasificada en el grupo de los termoestables (también conocidos como termofraguantes, no sufren deformaciones en presencia del calor) debido a que tiene en sus moléculas una gran cantidad de enlaces cruzados que le brindan mayor estabilidad. En la producción industrial, las resinas están hechas por la condensación de formaldehído y urea en una solución acuosa, utilizando amoníaco como un catalizador alcalino. La reacción de condensación da una

solución incolora, como melaza, que puede ser secada por pulverización para dar un polvo para su posterior uso en revestimientos o adhesivos.

El aislamiento de espuma de urea-formaldehído (UFFI) se trata básicamente de una espuma parecida a la crema de afeitar y fácilmente aplicable en paredes con una manguera. Se hace mediante el uso de un conjunto de una bomba y manguera con una pistola de mezcla para mezclar el agente de formación de espuma y la resina. La espuma líquida se pulveriza en las áreas con necesidad de aislamiento. Se endurece en pocos minutos, pero se cura en una semana.



Ilustración 66 Trabajador proyectando espuma urea-formol. Fuente: Tecnología de los plásticos¹³⁷

3.19.3 Impacto medioambiental

El formaldehído es un compuesto orgánico volátil que está presente en centenares de productos y en prácticamente cualquier ámbito del hogar. Es un producto irritante, tanto de la piel como de las vías aéreas, a partir de determinadas concentraciones en el medio ambiente.

Los riesgos para los trabajadores que están en contacto con formaldehído son elevados: la exposición aguda causa envenenamiento y puede ser letal si se exceden las 100 ppm. En el interior de las viviendas, las concentraciones fruto de la emisión desde los materiales son bajas, del orden de 0,05 ppm, y los posibles síntomas asociados básicamente son lagrimeo, goteo nasal, dolor de garganta, estornudos, accesos de tos, dificultad para conciliar el sueño, náusea, dolor de cabeza, fatiga, bronquitis y dificultades respiratorias. Principalmente afecta a personas sensibles o que padezcan afecciones como asma y rinitis, en cuyo caso puede agravar los ataques o los síntomas. Estos efectos por el momento no están demostrados de manera concluyente, aunque sí lo está su efecto cancerígeno. El formaldehído está clasificado como cancerígeno de categoría 3, es decir, que

¹³⁷ Aplicación de UFFI [en línea] En: [tecnologiadelosplasticos](http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com), 2012 [Consulta 15 junio de 2016] Disponible en: <http://4.bp.blogspot.com/-gFXsxeVaFM/UKRZni8RE3I/AAAAAAAAAC1A/UxNnUJd0LUo/s1600/UFFI-installation.jpg> en <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2012/11/resinas-urea-formaldehido.html>

es un probable carcinógeno humano, en base a los experimentos de laboratorio y los estudios epidemiológicos realizados. Esto es así incluso para la exposición prolongada a bajas concentraciones, como es el caso de la contaminación interior de las viviendas.

Cuando penetra por la vía respiratoria en forma de gas, o de pequeñas partículas, si las concentraciones son muy bajas, no se percibe, pero a partir de 1 ppm (partes por millón) es cuando va a haber alteraciones olfativas e irritación en áreas mucosas, empieza a causar daños a la salud en los seres humanos.

En lo que afecta al cáncer el Formaldehído se ha asociado en diferentes estudios realizados fundamentalmente con trabajadores de la madera, con el cáncer pulmonar y nasofaríngeo. También el formaldehído, se ha evaluado como posible factor de riesgo en el cáncer de próstata y de vejiga, y hay algunos estudios que lo asocian con Linfomas no Hodgkin y con Leucemias. El formaldehído está en la Lista de Sustancias Peligrosas (Hazardous Substance List) y en la Lista de Sustancias Extremadamente Peligrosas para la Salud (Special Health Hazard Substance List).¹³⁸

3.19.4 Valorización

El reciclado de este tipo de material tiene presente el problema intrínseco de que resulta difícil separar el producto al estar proyectado sobre otros materiales como hormigón, acero o cerámica, haciendo aún más complicado su tratamiento. Por esto, el único sistema que se ha encontrado es llevarlo a un vertedero controlado.

3.19.5 Propiedades

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitat
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	x	x	x	0,035	x
Densidad	kg/m ³	x	x	10-30	10-12	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1400	x	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	x	x	2	x	x
Dilatación térmica	m ³	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	E	x

Tabla 78 Propiedades de la espuma urea-formol

¹³⁸ Espuma aislante: los peligros del formaldehído. En: sites.google [web] [s.l.]: [s.n.], 2010 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/espumaaislante/los-peligros-del-formaldehido-1>

Federación Internacional de Trabajadores de las Industrias Metalúrgicas (FITIM). *Cáncer profesional / cáncer cero. Guía sindical para la prevención*. Ginebra: Tabergs Tryckeri AB, 2007 [consulta: 25 mayo 2016] Disponible en: <http://www.bwint.org/pdfs/CancerCeroSp.pdf>

3.20. Espuma fenólica

3.20.1 Naturaleza y composición

Las resinas fenólicas son los primeros polímeros de los cuales se tiene conocimiento. Las mismas fueron sinterizadas por L.M. Baekeland en el año 1909, a partir de la reacción entre formaldehído y fenol.

Las espumas fenólicas (PF) son materiales poliméricos celulares cuya matriz es de tipo fenólico. Estas espumas poliméricas se caracterizan por ser, en general, ligeras y rígidas. Existen dos tipos de espumas fenólicas, las sintéticas y las de reacción. Las primeras se formulan a partir de microesferas de resina fenólica que se combinan con resinas poliéster o epoxi. Las espumas fenólicas de tipo reacción se producen mediante la mezcla de la resina fenólica con un agente espumante, un catalizador ácido y un surfactante.

Las espumas fenólicas a su vez se clasifican en resoles y novolacas en función del tipo de resina que se emplee para su formulación. Las resinas fenólicas novolaca se sintetizan en medio ácido con una relación molar fenol/formaldehído superior a la unidad, mientras que las resinas fenólicas tipo resol se formulan en condiciones básicas con una relación molar fenol/formaldehído menor que la unidad. Las espumas fenólicas de tipo resol de condensación son las más comercializadas, ya que son más fáciles de manejar e implican procesos de producción más sencillos.

3.20.2 Proceso de fabricación

La espuma fenólica se produce a partir de la mezcla de una resina tipo resol, un agente espumante, un surfactante, un catalizador ácido y en algunos casos aditivos. Las resinas empleadas para la formulación de estos materiales suelen contener una relación molar fenol/formaldehído de 1/2. Como agente espumante se emplea el n-pentano.

La espuma fenólica se produce preferentemente en losas, las cuales después se cortan en láminas que posteriormente se montan (ilustración 67¹³⁹).

Actualmente, el consumo de espuma fenólica es bajo comparándolo, por ejemplo, la

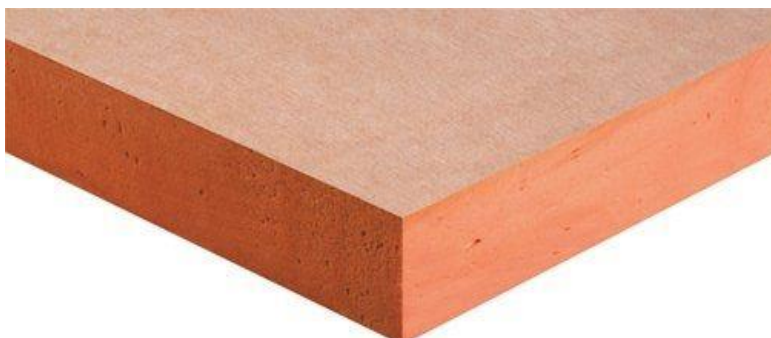


Ilustración 67 [Panel de espuma fenólica]. Fuente: archiexpo

¹³⁹ [Panel de espuma fenólica] En: archiexpo [web] [s.l.]: [s.n.], 2016 [Consulta: 17 de junio de 2016] Disponible en: <http://www.archiexpo.es/prod/kingspan-insulation/product-59603-281110.html>

espuma de poliuretano. Su empleo como aislante está en su uso en paredes, techos, tuberías y almacenes de frío.

3.20.3 Impacto medioambiental

Cantidades significativas de petróleo y gas natural deben ser quemados durante la fabricación y refinación para la obtención de este tipo de espuma.

En la siguiente tabla se puede ver el potencial de calentamiento global (GWP) y el potencial de destrucción de ozono (ODP) que presenta el agente espumante de la espuma fenólica.

Agente espumante	GWP*	ODP
R-365mfc	810	0
R-245fa	820	0
R-134 ^a	1300	0
R-11	4000	1
R-141b	630	0,11
R-142b	1800	0,065
R-152a	140	0
n-pentano	11	0
Iso-pentano	11	0

*100 años

Tabla 79 Parámetros medioambientales de los agentes espumantes físicos alternativos. Fuente: Belén del Saz-Orozco Rodríguez¹⁴⁰

3.20.4 Valorización

Dada su naturaleza termoestable, no se pueden fundir ni volver a moldear. Se está investigando un proceso de reciclaje experimental con calor y productos químicos pero resulta caro y genera subproductos nocivos. Por otra parte se ha descubierto que algunos hongos y microorganismos digieren las resinas fenólicas descomponiéndolas y dando la posibilidad de reciclarlas ecológicamente si se desarrollase un método para su posterior recuperación.

¹⁴⁰ DEL SAZ-OROZCO RODRÍGUEZ, op. cit., 2013, pág. 34.

3.20.5 Propiedades

El fenol no tratado se inflama con facilidad y es corrosivo. Como producto manufacturado para la industria de los aislantes es líquido, con un punto de fusión de 43°C y un punto de ebullición de 182°C. pero la espuma fenólica goza de propiedades especialmente favorables, ya que es la espuma rígida con mejores características de reacción al fuego. ésta comienza a descomponerse a 350-500°C y se enciende a 530-580°C. Cuando se quema se forma una capa carbonizada estable.

Por otro lado, la espuma fenólica se deteriora si se expone a la humedad o la luz del sol durante largos períodos de tiempo.

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitar
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	x	x	x	0,020-0,026	x
Densidad	kg/m ³	x	x	20-50	40	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1400	1400	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	x	x	50	50	x
Dilatación térmica	m ³	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	C	x

Tabla 80 Propiedades espuma fenólica

3.20.6 Fabricantes

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Espuma fenólica	Momentive Performance Materials Inc.	EEUU	New York	260 Hudson River Road Waterford, 12188
		España	Victoria-Gasteiz	Calle Venta de Antepardo, 9 Pol. Ind. Lantaron, 01213, Caicedo Yuso, Araba Tel.: 945 33 22 60
		España	Huesca	Pol. Ind. Valle del Cinca 22300- Tel.: 974 30 87 00
		España	Bizkaia	Calle Sangroniz, 8, 48150 - Tel.: 944 71 15 00

Tabla 81 Fabricantes Espuma Fenólica

3.21. Espuma elastomérica

En el año 1745, Charles-Marie introdujo por primera vez el caucho natural en Europa, lo que revolucionó la industria del siglo XVIII. Desde entonces se han desarrollado un sinnúmero de subproductos del caucho para infinidad de aplicaciones.

Elastómero, es un término poco usado, significa “caucho”. Dada su flexibilidad, se adapta con facilidad a cualquier superficie. Los elastómeros comunes son, por ejemplo, los neumáticos, las escobillas del limpiaparabrisas, las mangueras de goma para jardines o los balones de baloncesto.

La espuma elastomérica es un excelente aislamiento térmico a medias temperaturas y bajas; se aplica en tuberías de fluidos calientes y fríos, necesita protección exterior contra los rayos ultravioletas.

La espuma elastomérica flexible (FEF) de células cerradas está hecha de caucho natural o sintético, o una mezcla de ambos, y que contiene otros polímeros y elementos químicos que pueden ser modificados por aditivos orgánicos o inorgánicos. En su proceso de fabricación el caucho se vulcaniza. Tiene una buena resistencia a la intemperie y a los rayos ultravioleta.

Se presenta en el mercado en forma de coquillas para aislamiento de tuberías y en forma de planchas para aislamiento de depósitos y conductos.

Sus propiedades se reflejan en la siguiente tabla:

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA		EMPRESAS IDAE
					Pastor, 2012	EcoHabitat	
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	x	x	x	x	0,034-0,038	0,036-0,038
Densidad	kg/m ³	x	x	x	x	x	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	x	x	x	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	x	x	x	x	x	5000
Dilatación térmica	m ³	x	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	x	x	A1

Tabla 82 Propiedades de la espuma elastomérica

3.22. Espuma de polietileno

El polietileno (PE) químicamente es el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva:

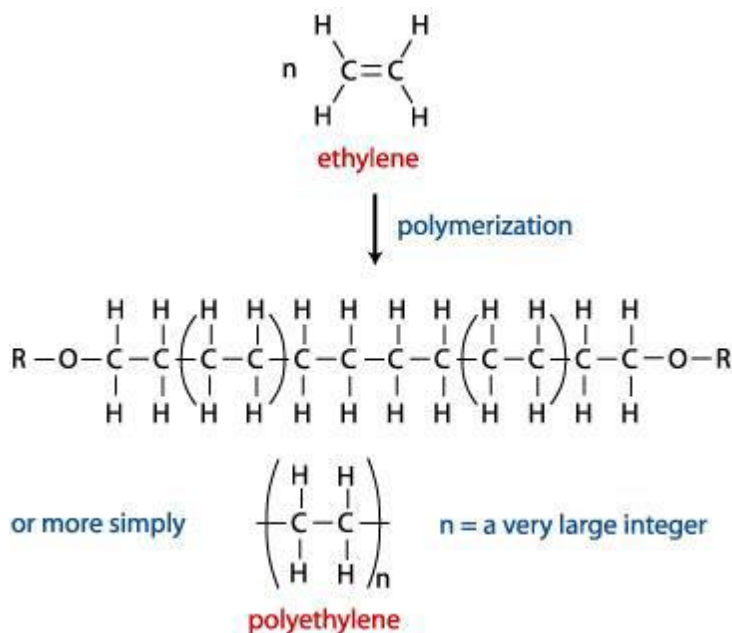


Ilustración 68 Representación del polietileno. Fuente: Universidad de Oviedo¹⁴¹

Por su alta producción mundial (aproximadamente 70 millones de toneladas en el año 2006) es también el más barato, siendo uno de los plásticos más comunes.

La espuma de polietileno (PEF) es una espuma polimérica orgánica de estructura celular cerrada, siendo también un material flexible adaptable.

Los polietilenos pueden espumarse mediante la adición de determinados agentes gasificantes (“blowing agents”, BA) para producir distintos objetos y prefabricados (paneles, láminas, etc.) de baja densidad, cuyo interior se encuentra formado por pequeñas y numerosas burbujas o celdillas vacías, uniformemente distribuidas por toda la masa. La relación (resistencia a la flexión/peso de polímero) de estos productos resulta alta y su uso proporciona una importante economía, teniendo en cuenta, además, su mayor capacidad aislante, en comparación con los materiales no espumados.

La operación de espumado tiene lugar generalmente a la vez que se procesa el compuesto o “compound” previamente preparado, con todos sus aditivos, cargas, plastificantes, etc., mediante extrusión o moldeo por inyección, cuyas máquinas son prácticamente las mismas que las utilizadas

¹⁴¹ Materiales poliméricos y compuestos. En: Universidad de Oviedo [web] Oviedo: Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales, 2012 [Consulta 20 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T8.1-MPyC.Tema8.MaterialesPolimericosInteresIndustrial.pdf>

para los plásticos sin espumar, aunque con algunas variantes. También se emplean otras específicas como el moldeo rotacional.

Como agentes espumantes pueden usarse gases comprimidos o líquidos que se disuelven a presión y a temperaturas relativamente bajas en la masa polimérica y que se evaporan o gasifican por pérdida de presión y/o aumento de la temperatura. Son los gasificantes físicos (“physical blowing agent”, PBA).

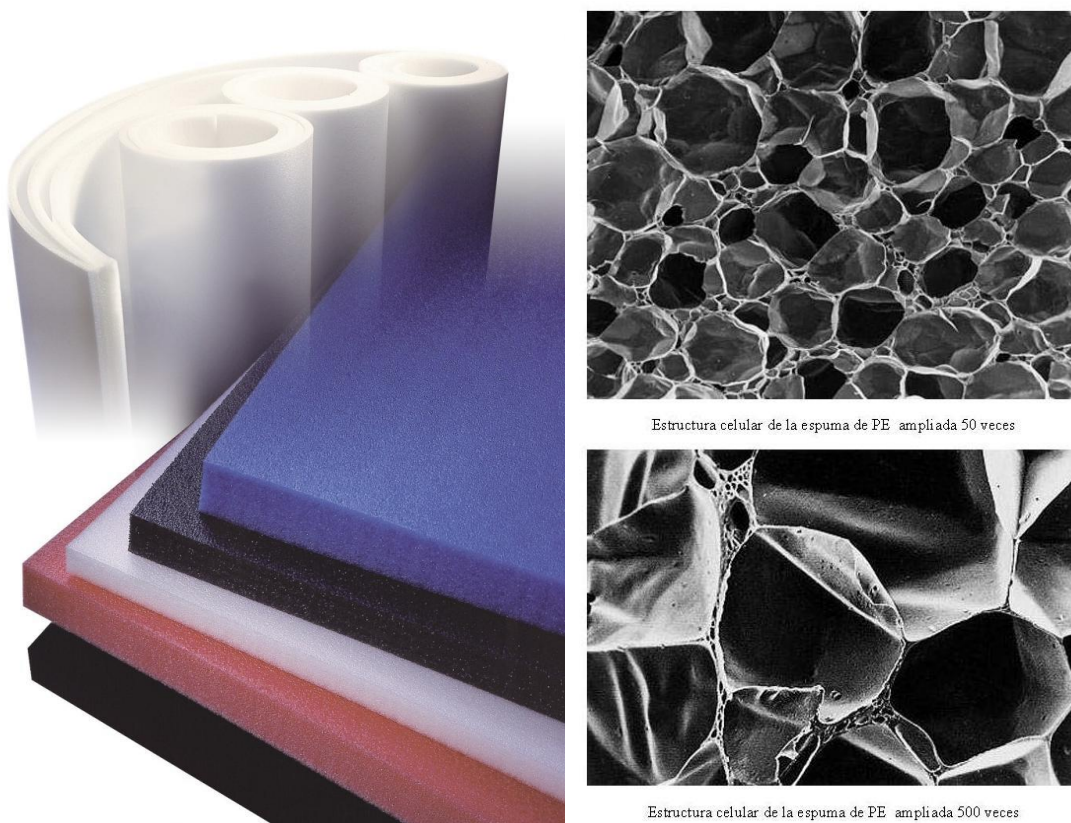


Ilustración 69 Espumas de polietileno. Fuente: Universidad de Oviedo¹⁴²

El proceso de fabricación de las espumas de polietileno lleva consigo una diferenciación en familias de espumas de polietileno:

- Espumas de polietileno no reticulado: buen aislante termo acústico y gran flexibilidad, por lo que se adapta a cualquier forma.
- Espumas de polietileno reticulado: adecuada para aplicaciones de estanqueidad (p. ej., burletes y juntas adhesivas), con buena resistencia a la temperatura y buen comportamiento frente a la exposición solar.

¹⁴² Materiales poliméricos y compuestos. En: Universidad de Oviedo [web] Oviedo: Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales, 2012 [Consulta 20 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T8.1-MPyC.Tema8.MaterialesPolimericosInteresIndustrial.pdf>

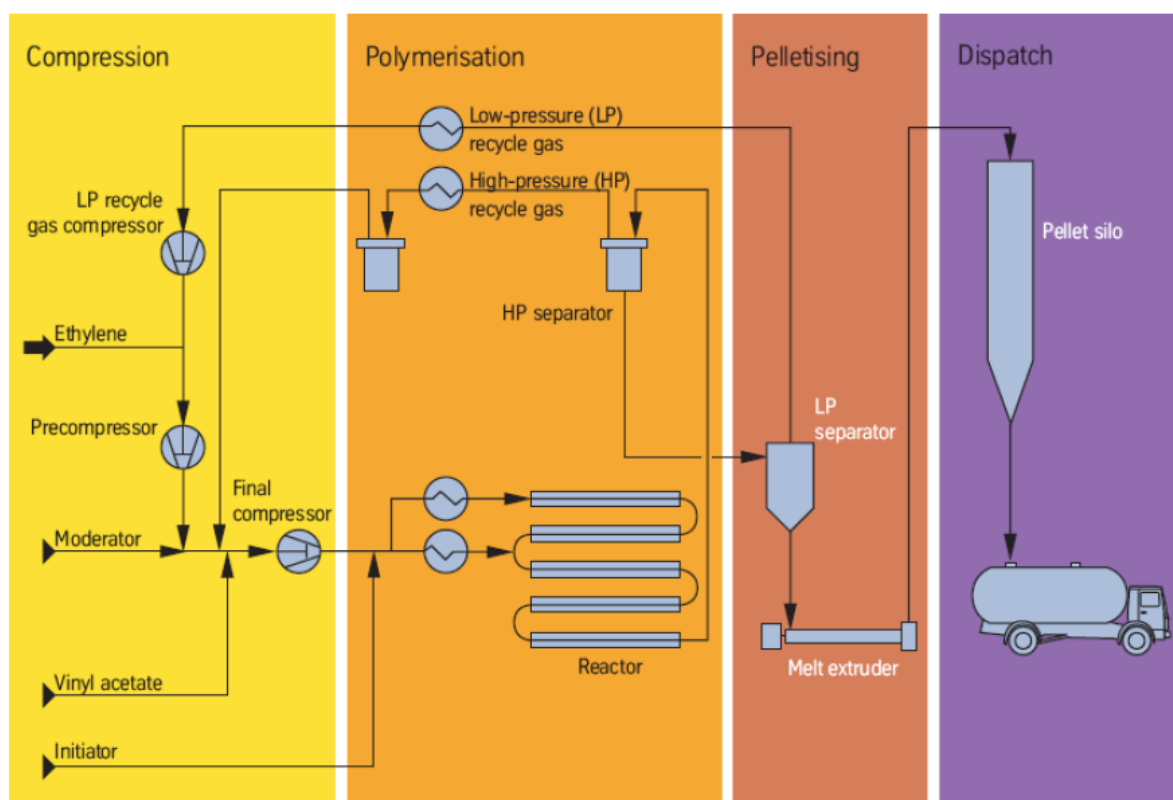


Ilustración 70 Proceso de obtención del polietileno de baja densidad. Fuente: Universidad de Oviedo¹⁴³

Las dos familias de espumas presentan estructura celular cerrada y pueden modificarse sus propiedades elásticas mediante el uso de copolímeros flexibles.

En la fabricación de las espumas de polietileno (basado en polímeros derivados principalmente del etileno) reticulado, por medio de un proceso especial, se consigue entrelazar entre sí las cadenas lineales de polímero creándose una estructura de red tridimensional que aporta una mejora de propiedades mecánicas, resistencias térmicas y un mejor envejecimiento. La reticulación de un polímero es el equivalente a la vulcanización de un caucho.

Las espumas de polietileno pueden tener diferentes aplicaciones: colchonetas de camping (aislante térmico), en aislamiento de túneles (impermeable al agua), en aislamiento de tubos-coquillas o de conductos de aire acondicionado, o como paneles anti-aguas en automoción y como láminas anti-impacto en construcción (aislamiento acústico). Actualmente su uso como aislante térmico es muy reducido en comparación con la espuma de poliuretano, por ejemplo. Su empleo queda reducido a suelos y tuberías.

¹⁴³ Materiales poliméricos y compuestos. En: Universidad de Oviedo [web] Oviedo: Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales, 2012 [Consulta 20 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T8.1-MPyC.Tema8.MaterialesPolimericosInteresIndustrial.pdf>

Espuma de polietileno

En la siguiente tabla se puede ver el coste energético de dos productos de polietileno (planchas aislantes):

	p(kg/m3) ITeC	e (mm)	COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2	€/m2
			MJ/kg	kgCO2/kg	
ITeC	24	30	77,11	11,38	18,06
	45	30	144,58	21,34	21,23
FIVE	x	x	x	x	x

Tabla 83 Coste energético de la fabricación del polietileno. Precios

Para finalizar, se refleja una tabla de fabricantes de espuma de polietileno en España:

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Espuma de polietileno	Esva, espumas del Vallés, S.A.	España	Barcelona	C/ Pintor Vila Cinca, 20 - Pol. Ind-Can Humet de Dalt, 08213 Polinyà Tel.: 937 134 330 - info@espumasdelvalles.com
	Salvador Escoba S.A.	España	Barcelona	Provença, 392 pl. 2 - 08025 - Tel.: +93 446 27 80
	Armacell Iberia, S.L.	España	Girona	Pol. Ind. Riera d'Esclanyà - C/ Can Magí, 1 - 17213 Esclanyà - Begur

Tabla 84 Fabricantes de espuma de polietileno en España

3.23. Espuma de polipropileno

El polipropileno estructuralmente es un polímero vinílico, similar al polietileno, sólo que uno de los carbonos de la unidad monomérica tiene unido un grupo metilo. El polipropileno se puede producir a partir del monómero propileno, por polimerización Ziegler-Natta y por polimerización catalizada por metallocenos.

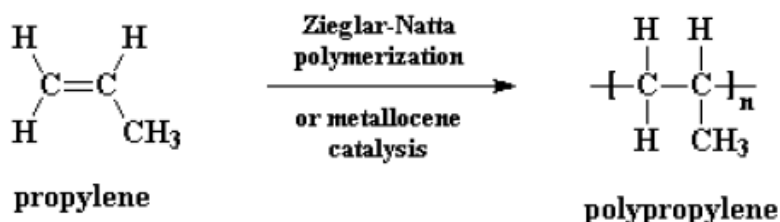


Ilustración 71 Producción del polipropileno. Fuente: Universidad de Oviedo¹⁴⁴

El polipropileno se encuentra dentro del grupo de las poliolefinas. Del propileno se obtiene el polipropileno, es más rígido que la mayoría de las poliolefinas. Posee una gran capacidad de recuperación elástica. Resistente al agua hirviendo pudiendo esterilizarse a temperaturas de 140°C sin deformación. Su estabilidad térmica soporta una temperatura de 80°C en el aire durante varios años.

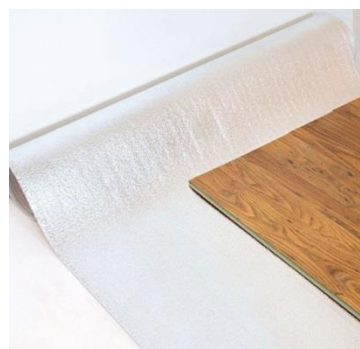


Ilustración 72 Espuma de polipropileno bajo parquet. Fuente: esteba

Aunque los procesos comerciales de obtención del polipropileno son variados, se les puede clasificar, dependiendo del medio de reacción y de la temperatura de operación, en tres tipos:

- Procesos en solución
- Procesos en suspensión; prácticamente en desuso.
- Procesos en fase gas

En la actualidad muchas de las nuevas unidades de producción incorporan procesos híbridos, en los que se combina un reactor que opera en suspensión con otro que opera en fase gas.

Posee una conductividad térmica de entre 0,1 – 0,22 W/m K, una densidad de 900kg/m³ y su calor específico tiene valores de entre 1700 y 1900 J/kg K.

El polipropileno puede espumarse mediante la adición de determinados agentes gasificantes (“blowing agents”, BA) para producir distintos objetos y prefabricados (paneles, láminas, etc.) de baja densidad, cuyo interior se encuentra formado por pequeñas y numerosas burbujas o

¹⁴⁴ Materiales poliméricos y compuestos. En: Universidad de Oviedo [web] Oviedo: Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales, 2012 [Consulta 20 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T8.1-MPyC.Tema8.MaterialesPolimericosInteresIndustrial.pdf>

Espuma de polipropileno

celdillas vacías, uniformemente distribuidas por toda la masa. La relación (resistencia a la flexión/peso de polímero) de estos productos resulta alta y su uso proporciona una importante economía, teniendo en cuenta, además, su mayor capacidad aislante, en comparación con los materiales no espumados.

	COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2	€/m2
	MJ	kgCO2/kg	
ITeC	8,64	1,29	15-16
FIVE	x	x	x

Tabla 85 Coste energético en la fabricación de la espuma de polipropileno

3.24. Espuma de melamina

La melamina es un compuesto orgánico que responde a la fórmula química $C_3H_6N_6$ (ilustración 73¹⁴⁵). Naturalmente forma un sólido blanco. Tiene un excelente balance de dureza y flexibilidad,

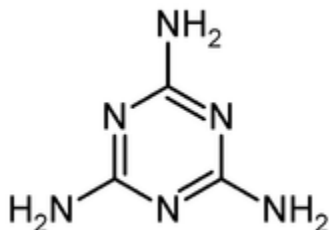


Ilustración 73 Formulación química de la melamina. Fuente: [tecnologiadelosplasticos](http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com)

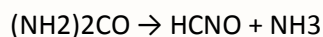
una adecuada resistencia a los agentes químicos, a la intemperie y al agua caliente y una amplia tolerancia a distintos ciclos de horneado. Es un trímero (está constituida por tres moléculas iguales) de cianamida.

La melamina fue sintetizada por primera vez por el químico alemán Justus von Liebig en 1834. Inicialmente, en la producción de melamina, primero cianamida de calcio se convertía en diciandiamida, después se calentaba por encima de su temperatura de fusión para producir melamina. Sin embargo,

los fabricantes de hoy en día, utilizan la urea en la siguiente reacción para producir melamina:



Se puede entender como dos pasos. En primer lugar, la urea se descompone en ácido cianhídrico y amoníaco en una reacción endotérmica:



Entonces, el ácido cianhídrico se polimeriza para formar melamina y dióxido de carbono:



La segunda reacción es exotérmica, pero el proceso global es endotérmico.

¹⁴⁵ [Formulación química de la melamina]. En: tecnología de los plásticos [web] [s.l.]: [s.n.], 2012 [consulta 20 de junio de 2016]. Disponible en: <http://2.bp.blogspot.com/-FPs2sS5zBPc/UJj31XD3Ypl/AAAAAAAAACuU/utk2wQutMo0/s200/Melamine.png> en <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2012/11/resinas-melamina-formaldehido-mf.html>

3.25. Espuma de poliisocianurato

La espuma de poliisocianurato (PIR) es el material o producto aislante plástico celular rígido con una estructura celular predominantemente cerrada basado en polímeros en los que las unidades estructurales repetidas en las cadenas son esencialmente de tipo isocianurato.

La experimentación de este tipo de espuma se remonta a 1937, cuando Otto Bayer investigaba en el campo de los adhesivos, pero no se utiliza hasta 1950.

La espuma de poliisocianurato es un polímero fabricado a partir de la reacción de isocianatos con distintos polioles; su relación es de aproximadamente 100:150¹⁴⁶. En función del producto final, su formulación química puede contener otros compuestos como catalizadores o agentes de expansión (normalmente CO₂, gas HCFC, hoy en discusión, pentano o mezcla de los anteriores).

Esta espuma puede ser de celda abierta o de celda cerrada. Esta doble posibilidad viene originada por la exigencia de un cierto aislamiento acústico al material ya que, en principio, ambos tienen su particularidad en el alto aislamiento térmico que le confiere la celda cerrada.

La composición química además de las propiedades son similares a las de la espuma de poliuretano. La diferencia radica en que los poliuretanos se llaman así porque en su cadena principal contienen enlaces uretano y su relación es de aproximadamente 100:100.

En la siguiente tabla podemos ver el coste energético de diferentes productos de espuma de poliisocianurato, además de su precio:

	Vm fabricantes					COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO ₂	€/m ²
	ρ (kg/m ³)	ρ (kg/m ³) ITeC	λ (W/m.k)	R(m ² .K/W)	e(mm)	MJ/kg	kgCO ₂ /kg	
ITeC	40	35	0,024	0,8333	20	x	x	12-14
	40	35	0,024	1,25	30	82,36	11,33	14-16
FIVE	x	x	x		x	70-125	x	x

Tabla 86 Coste energético de la fabricación de la espuma de poliisocianurato. Precios¹⁴⁷

Los fabricantes de este producto se pueden ver en el apartado de espuma de poliuretano.

¹⁴⁶ PASTOR JUAN, Alfonso. *Dossier: Aislantes térmicos en la edificación. Materiales. Exigencias normativas. Directorios*. Alicante: Stampa Edición Digital, S.L. 2012, 72p. ISBN 978-84-938147-2-4

¹⁴⁷ Vm fabricantes → valores medios de densidad proporcionados por fabricantes (ver gráficos 10 y 11)

ρ (kg/m³) → Densidad teórica (ver datos de la tabla 116)

ρ (kg/m³) ITeC → Densidad aproximada al valor anterior proporcionada por ITeC

R(m².K/W) → Valores de resistencia proporcionados por ITeC

λ (W/m.k) → Conductividad térmica proporcionada por ITeC

3.26. Poliestireno expandido

3.26.1 Naturaleza y composición

Fue el alemán Hermann Staudinger el primero en sintetizar deliberadamente Poliestireno en su laboratorio y en explicar el fenómeno mediante una "teoría de la polimerización" (1920). Su teoría desató una fuerte controversia y fue rechazada por la comunidad científica de la época. No obstante, Staudinger continuó su trabajo, siendo recompensado con el Premio Nobel de Química en 1953. En el año 1951 la empresa BASF comienza a fabricar Poliestireno, que disponía ya desde 1930 una patente para la polimerización del monostireno, base química del producto.

Podemos definir el Poliestireno expandido (ilustración 74¹⁴⁸), según la norma UNE-EN 13163, como un material aislante plástico, celular rígido fabricado mediante el moldeo de perlas de poliestireno expandido o de uno de sus copolímeros, y que tiene sustancialmente estructura de celda cerrada, rellena de aire. Se divide en cuatro tipos relacionados con el uso previsto:

- EPS_i: para aplicaciones portantes, donde *i* representa el valor declarado (expresado en tensión de compresión a 10% de deformación).
- EPS S: para aplicaciones no portantes.
- EPS SD: para aplicaciones no portantes con propiedades acústicas.
- EPS T: para aplicaciones de suelo flotante.

Es llamado vulgarmente "corcho blanco" o "porespán". Es un material plástico y, por tanto, derivado del petróleo. De las diferentes destilaciones iniciales de éste (gas, queroseno, fuel y nafta), se aprovecha ésta última en sus componentes Benceno, Etileno y Pentano. Los dos primeros conforman el Estireno(materia prima), mientras que el tercero es el elemento expansivo.



Ilustración 74 Fragmento de poliestireno expandido. Fuente: Sumiseran

La materia prima se constituye en forma de pequeñas "perlas" más o menos esféricas con diámetros que oscilan entre los 0,2 y 3,0mm. Los utilizados para la construcción varían entre 1,0 y 3,0mm, mientras que los diámetros inferiores se destinan a envases.

¹⁴⁸ Fragmento de Poliestireno expandido. En: Sumiseran, S.L. [en línea] Huelva: [s.n.] [consulta: 27 junio 2016]. Disponible en: <http://www.molduras.es/contents/media/poliestireno.jpg> en <http://www.molduras.es/contents/es/d78.html>

3.26.2 Proceso de fabricación

El proceso de obtención de la materia prima es un proceso químico desde el pozo petrolífero, desde el cual a partir del procesado del petróleo se obtienen, mayoritariamente como subproductos, el etileno y diversos compuestos aromáticos. A partir de los cuales, se obtiene el estireno como se puede ver en la siguiente imagen:

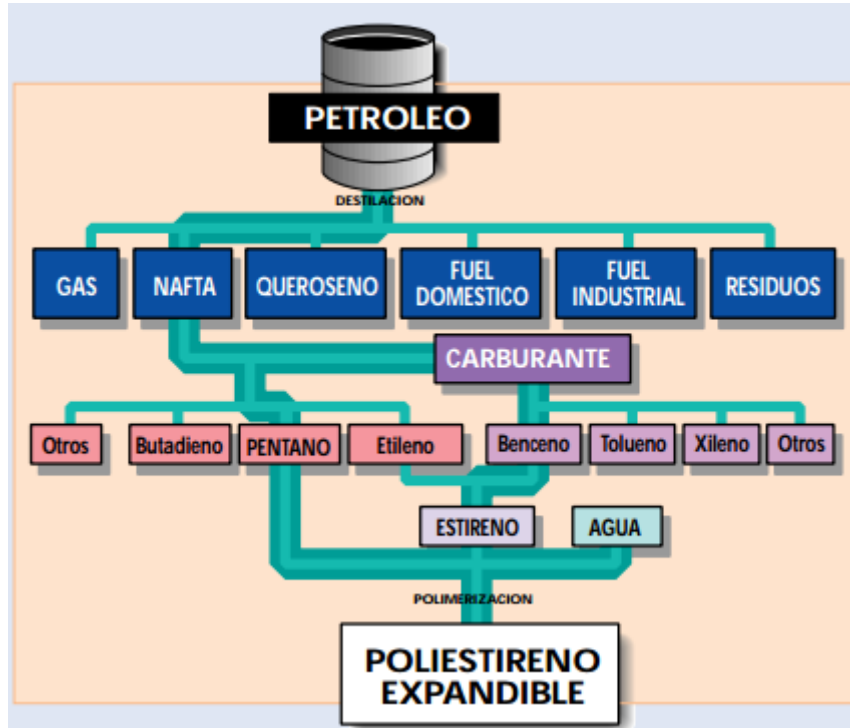


Ilustración 75 Obtención del poliestireno expandible. Fuente: ANAPE¹⁴⁹

El proceso que se lleva a cabo a continuación se realiza por medios físicos, donde el estireno monómero junto con el agente expansor (el pentano) sufre un proceso de polimerización en un reactor con agua dando lugar al poliestireno expandible (PS), la materia prima de partida para la fabricación del poliestireno expandido. La transformación de la materia prima (poliestireno expandible) en artículos acabados de poliestireno expandido transcurre fundamentalmente en tres etapas:¹⁵⁰

¹⁴⁹ Obtención del poliestireno expandible. En: ANAPE [web] Madrid: ANAPE, 2002 [Consulta: 25 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.alkiosco.com/anape/pdf/ficha71.pdf>

¹⁵⁰ Producto. En: ANAPE [web] Madrid: ANAPE, 2016 [Consulta: 25 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.anape.es/index.php?accion=producto>
Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (Fenercom). *Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética*. Madrid: Fenercom, 2012 [consulta: 6 junio del 2016] Disponible en: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-materiales-aislantes-y-eficiencia-energetica-fenercom-2012.pdf>

1. Preexpansión:

Se parte de Poliestireno expandible (PS) en perlas. La materia prima se calienta en unas máquinas especiales denominadas preexpansores, con vapor de agua a temperaturas situadas entre 80 y 110°C. Esto produce un doble efecto: ablandamiento del material e hinchamiento de las perlas por efecto de la dilatación del pentano. En el proceso de preexpansión, las perlas compactas de la materia prima se convierten en perlas ligeras de plástico celular con pequeñas celdillas cerradas que contienen aire en su interior.

Los preexpansores pueden ser continuos (alimentación de materia prima y vapor de forma ininterrumpida) o discontinuos (cerrados y con dosificación definida de materia prima).

A la salida de las perlas del preexpansor, éstas son dirigidas hacia un lecho fluidizado, instalación de secado donde se secan dentro de una corriente de aire ascendente consiguiéndose una estabilización mecánica de las mismas que resulta muy conveniente antes del transporte neumático a los silos de reposo intermedio.

2. Reposo intermedio y estabilización

Al enfriarse las partículas recién expandidas se crea un vacío interior que es preciso compensar con la penetración de aire por difusión. De este modo las perlas alcanzan una mayor estabilidad mecánica y mejoran su capacidad de expansión, lo que resulta ventajoso para la siguiente etapa de transformación. Este proceso se desarrolla durante el reposo intermedio del material preexpandido en silos ventilados. Durante el reposo intermedio se desarrollan simultáneamente varios procesos:

- Se difunde aire el interior de las celdillas a través de sus membranas consiguiendo la estabilidad mecánica de las partículas.
- Se emite humedad a la atmósfera mejorándose el transporte de las perlas y el llenado de moldes complicados.
- Se elimina por difusión el exceso de agente de expansión reduciéndolo a las cantidades estrictamente necesarias para la siguiente etapa.

3. Expansión y moldeo final

En esta etapa las perlas preexpandidas y estabilizadas se transportan a unos moldes donde nuevamente se les comunica vapor de agua, lo que hace que las perlas se suelden entre sí formando una estructura poliédrica.

De esta forma se pueden obtener grandes bloques (que posteriormente se mecanizan en las formas deseadas como planchas, bovedillas, cilindros, etc..) o productos conformados con su acabado definitivo.

4. Corte y mecanizado

Hay dos tipos de corte del Poliestireno expandido:

- **Corte en recto:** los bloques de Poliestireno expandido obtenidos pueden ser cortados en planchas. Dicho proceso se lleva a cabo mediante la utilización de una mesa de corte en tres dimensiones en la que hay dispuesto un sistema de hilos calientes que nos permiten hacer del bloque tantas planchas como sea posible de las medidas requeridas.
- **Corte en formas:** cuando es necesario obtener formas más complicadas, el bloque es mecanizado en pantógrafos de control numérico.

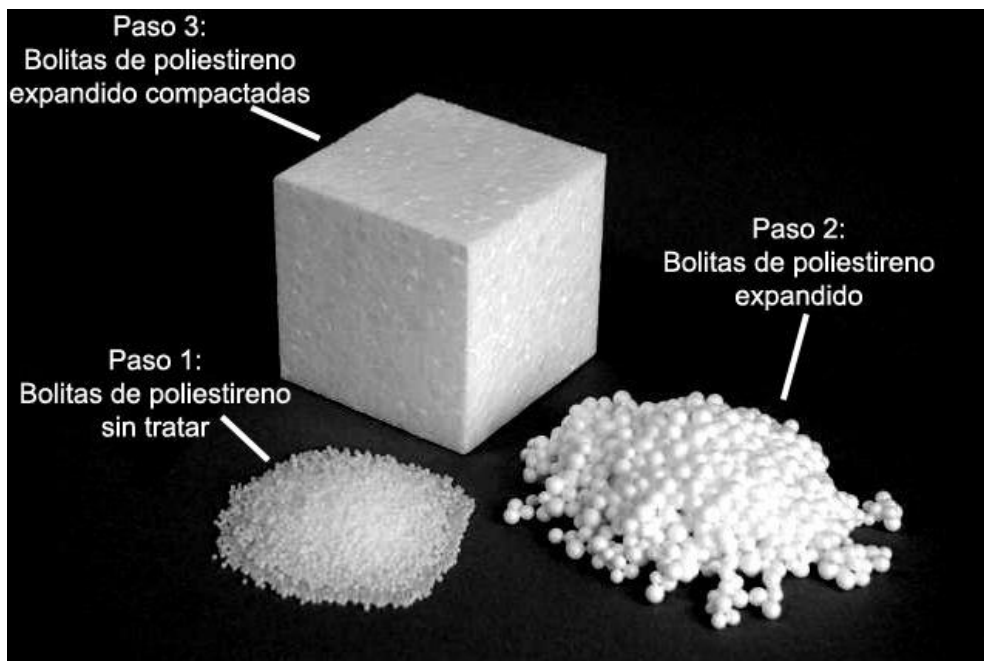


Ilustración 76 Diferentes productos que intervienen en la fabricación del Poliestireno expandido. Fuente: Sumiseran¹⁵¹

Este proceso hace que el EPS esté compuesto por un 98% de aire y 2% de Poliestireno.

¹⁵¹ [Diferentes productos que intervienen en la fabricación del Poliestireno expandido] En: Molduras [web] Huelva: [s.n.] [consulta: 25 junio 2016]. Disponible en: <http://www.molduras.es/contents/media/pasos-poliestireno-expandido.jpg> en <http://www.molduras.es/contents/es/d78.html>

Poliestireno expandido

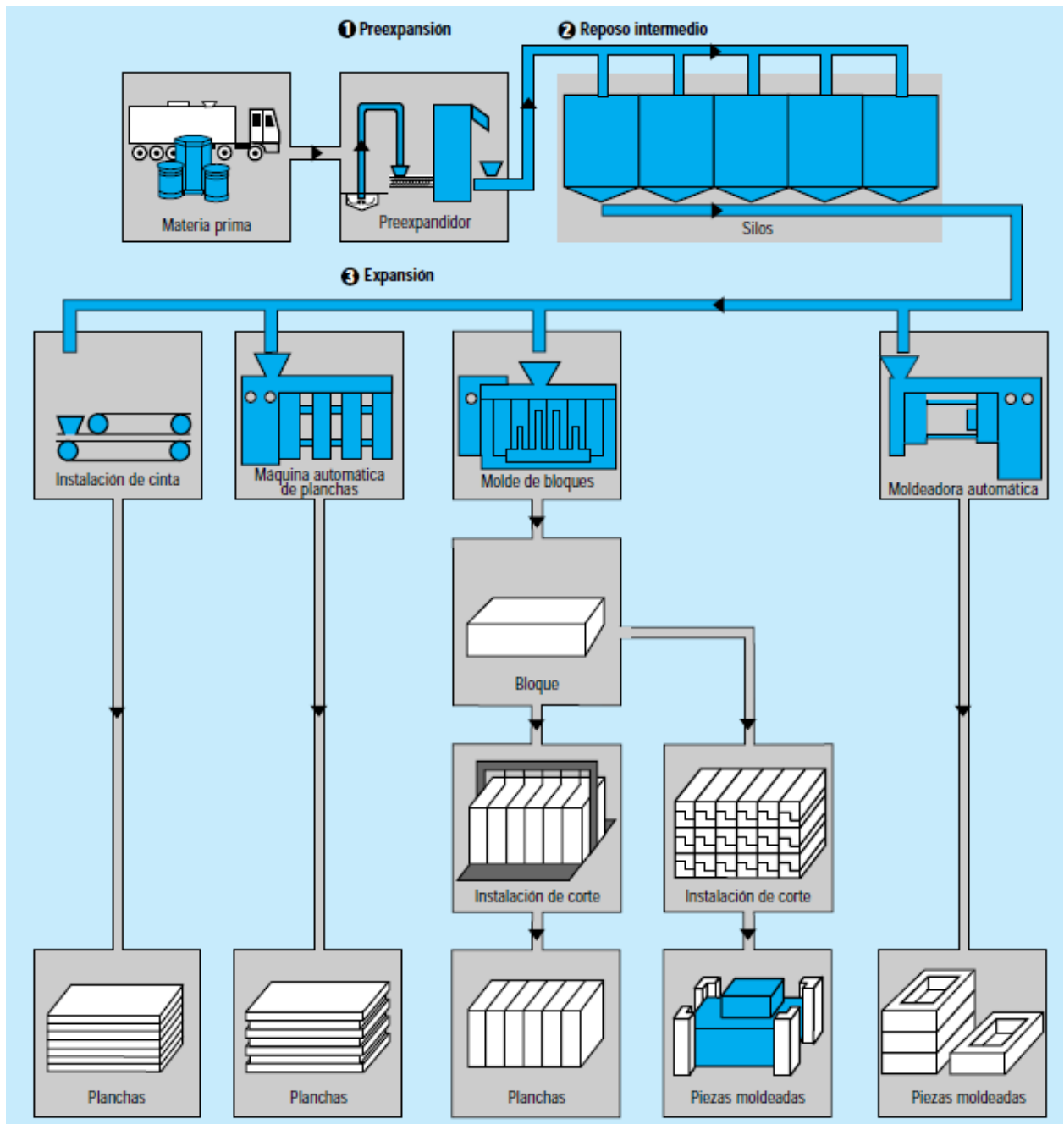


Ilustración 77 Proceso de fabricación del EPS. Fuente: BASF¹⁵²

¹⁵² BASF. *Styropor. Informaciones técnicas* [en línea] Alemania: BASF, 1998 [consulta: 25 junio 2016] Disponible en: [https://epsfoamprod.com.sharepoint.com/Documents/Informaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20EPS%20-%20Todo%20lo%20que%20necesita%20saber%20acerca%20de%20la%20producci%C3%B3n%20de%20EPS%20\(Poliestireno%20Expandido\).pdf](https://epsfoamprod.com.sharepoint.com/Documents/Informaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20EPS%20-%20Todo%20lo%20que%20necesita%20saber%20acerca%20de%20la%20producci%C3%B3n%20de%20EPS%20(Poliestireno%20Expandido).pdf)

3.26.3 Impacto medioambiental

Para producir Poliestireno se usan recursos naturales no renovables, ya que es un plástico derivado del petróleo. Tendremos en cuenta tres aspectos a la hora de analizar su impacto:

- Composición: como hemos dicho, a pesar de que es un 98% de aire y un 2% de Poliestireno, la obtención y fabricación de este último conlleva una serie de peligros para el medio ambiente. Un ejemplo de esto es que deriva del petróleo, un producto no renovable, el cual hay que transformar para obtener el material final (extracción y procesado de la materia prima, transporte)
- Energía: la empleada desde la extracción de la materia prima hasta el final de la vida útil del material.
- CO₂ emitido en los procesos anteriores. El más relevante será el ocasionado por el transporte desde la extracción de la materia prima.

	λ (W/m.k)	R(m2.K/W)	e(mm)	COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2
				MJ/kg	kgCO2/kg
ITeC	0,044	0,45	20	24,57	3,63
	0,047-0,035	0,85-1,15	40	49,14	7,25
	0,046-0,039	1,75-2,05	80	98,28	14,51
	0,047	2,15	100	122,85	18,13
FIVE	x	x	x	75-125	x
Libro ¹⁵³	x	x	x	16,74	x

Tabla 87 Coste energético en la fabricación del EPS¹⁵⁴

La descomposición de este plástico ligero es extremadamente lenta y contamina vías fluviales, dañando fauna y flora marina y aves.

Debemos evitar tanto la incineración de este material por las emisiones que se producen a la atmósfera como destinarlo a vertedero, ya que es un material con una persistencia muy prolongada en la naturaleza (más de 500 años). Según datos del Ministerio de Medio Ambiente, en 2008 se reciclaron un total de 289.823 toneladas de plástico procedentes de envases y embalajes, lo que supone un 38% del total. En cuanto a origen de los residuos, el 50% proviene de los hogares, el 32% son retales propios y el 18% de industrias y comercios. Y, en el caso del destino del reciclado, sigue siendo la producción de bloques (95%) el principal, descendiendo ligeramente el uso de hormigones ligeros (5%).¹⁵⁵

¹⁵³ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

¹⁵⁴ **R(m2.K/W)** → Valores de resistencia proporcionados por ITeC

λ (W/m.k) → Conductividad térmica proporcionada por ITeC

¹⁵⁵ ¿Qué es el Poliestireno? En: Molduras [web] Huelva: [s.n.] [consulta: 25 junio 2016]. Disponible en: <http://www.molduras.es/contents/es/d78.html>

Como alternativa a este material empresas como Hifas da Terra han puesto en marcha una alternativa con un producto muy familiar como son las palomitas de maíz. Aunque no se han encontrado datos del impacto medioambiental del aceite empleado para hacer las palomitas. Otra opción viable para la sustitución de este producto que se está desarrollando recientemente, es el micelio, la parte subterránea de los hongos (en el apartado “otros aislantes” se habla de este material para uso como aislante).



Ilustración 78 [Embalaje de micelio]. Fuente: ecoinventos¹⁵⁶

3.26.4 Valorización

En el reciclado de EPS participan distintos actores, ya que, según su procedencia, los residuos son gestionados como envase doméstico, como envase industrial, como residuo plástico, etc. y por tanto gestionados por empresas de distinta entidad.

Para la recuperación del EPS existen diferentes vías:

→ *Reciclado mecánico*: el EPS puede reciclarse mecánicamente a través de diferentes formas y para distintas aplicaciones:

- Fabricación de nuevas piezas de EPS: nuevos embalajes con contenido reciclado o planchas para la construcción.
- Mejora de suelos: los residuos de EPS una vez triturados y molidos, se emplean para ser mezclados con la tierra para mejorar su drenaje y aireación.
- Incorporación a otros materiales de construcción: para fabricar ladrillos ligeros y porosos, hormigones ligeros, etc.
- Producción de granza de PS (poliestireno): los embalajes de EPS usados se transforman fácilmente mediante simples procesos de fusión, obteniéndose nuevamente el material de partida en forma de granza. Esta granza puede utilizarse para fabricar piezas sencillas mediante moldeo por inyección, como perchas, bolígrafos, carcasas, etc.

¹⁵⁶ [Embalaje de micelio] En: Ecoinventos [s.l.]: [s.n.], 2016 [consulta: 25 de junio] Disponible en: <http://i2.wp.com/ecoinventos.com/wp-content/uploads/2016/03/Mushroom-Packaging.jpg?w=800> en <http://ecoinventos.com/mushroom-packaging-el-nuevo-embalaje-sostenible-para-ikea/>

→*Recuperación energética*: se trata de la obtención de energía, normalmente en forma de calor, a partir de la combustión de los residuos. Este proceso, es una opción de gestión de los residuos indicada para aquellos productos y materiales que, por diversos motivos, no pueden ser reciclados fácilmente, aunque muy desaconsejada por la cantidad de emisiones peligrosas que genera.

→*Vertedero*: cuando no hay otro método de gestión de recuperación alternativo y viable, los residuos de EPS pueden destinarse al vertedero.

En la siguiente imagen se reflejan los procesos explicados anteriormente:

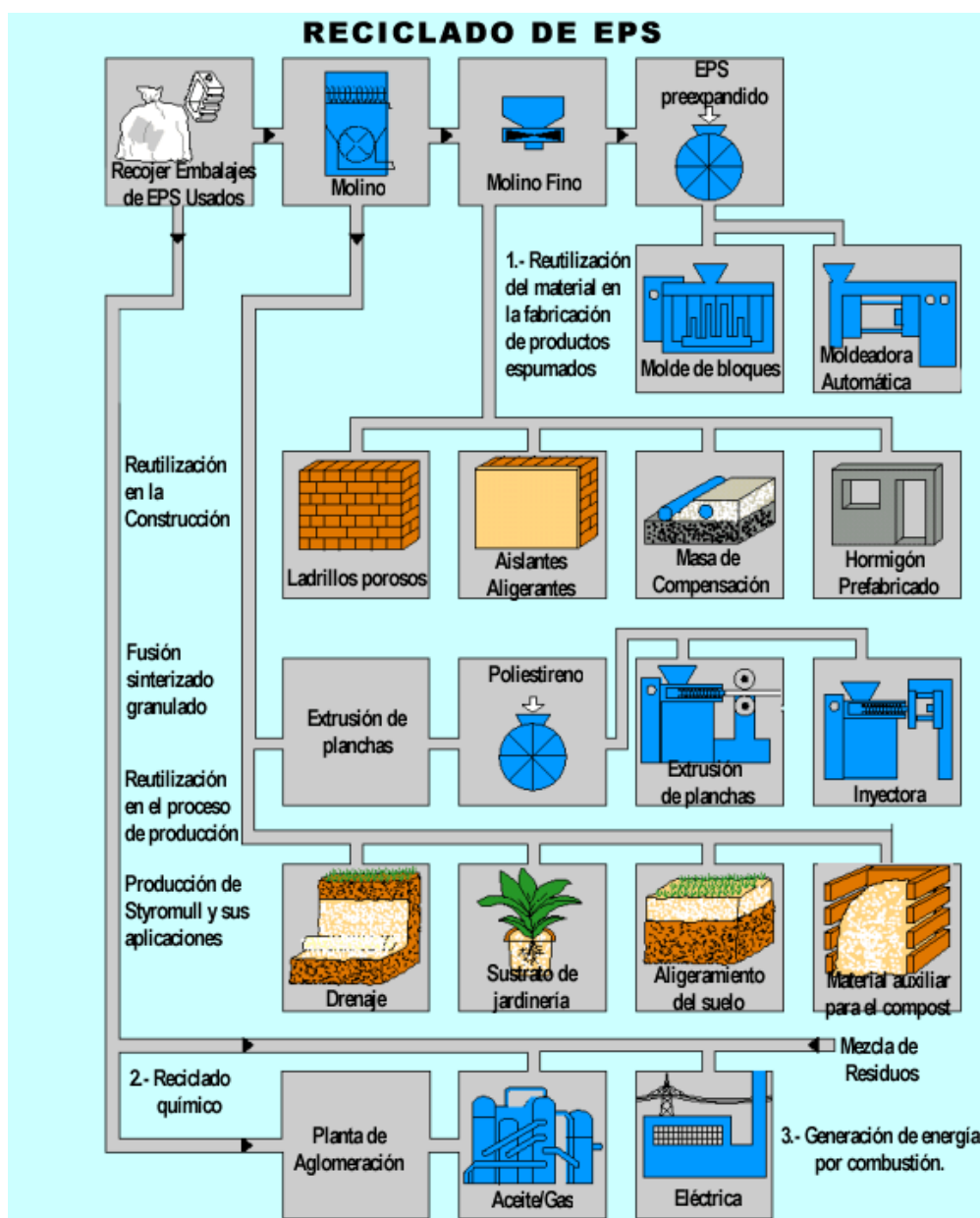


Ilustración 79 Reciclado del EPS. Fuente: Sumiseran S.L.¹⁵⁷

¹⁵⁷ ¿Qué es el Poliestireno? En: Molduras [web] Huelva: [s.n.] [consulta: 25 junio 2016]. Disponible en: <http://www.molduras.es/contents/es/d78.html>

3.26.5 Propiedades

En el proceso de fabricación, en función de la temperatura y del tiempo de exposición la densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m³ a densidades que oscilan entre los 10-30 kg/m³. En los siguientes gráficos se puede ver cómo varia la conductividad térmica con la densidad:

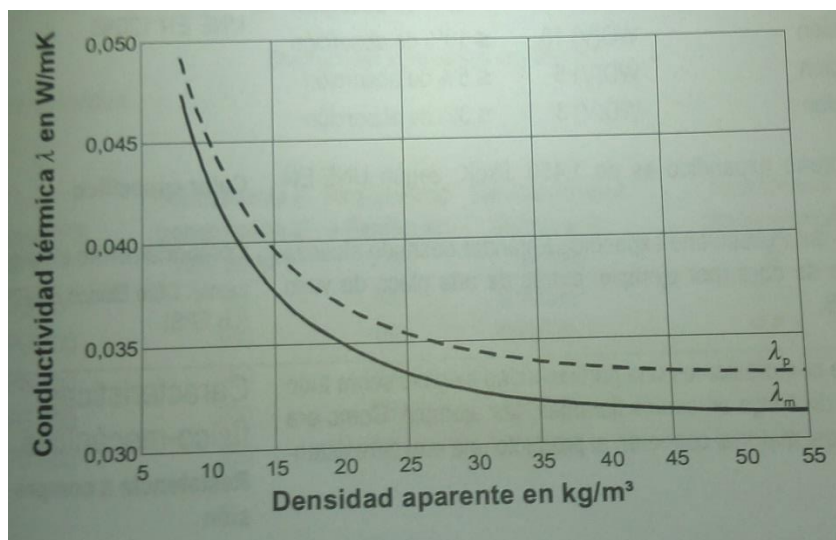


Ilustración 80 Densidad/conductividad térmica. Valores medios y previstos. Fuente: PASTOR, 2012¹⁵⁸

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitar
Coficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,029-0,053	0,028-0,036	x	0,034-0,038	0,037-0,040
Densidad	kg/m3	x	x	10-50	10-30	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1450	1450	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)		20-40	x	60	20-100	30-100
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	% en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	E	E	x	E	B
Precios	€/m2	<5	3-12	x	x	x

Tabla 88 Propiedades del Poliestireno expandido. Precios

¹⁵⁸ PASTOR JUAN, Alfonso. *Dossier: Aislantes térmicos en la edificación. Materiales. Exigencias normativas. Directorios*. Alicante: Stampa Edición Digital, S.L. 2012, 72p. ISBN 978-84-938147-2-4

Poliestireno expandido

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS				
		BASF	Sundolitt	Knauf	Inosa	Polisur 2000
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,031-0,036	0,034-0,045	0,034-0,045	0,033-0,046	x
Densidad	kg/m ³	15-30	10-50	10-30	10-50	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	1210	1300	1200	1210	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	20-100	20-100	20-100	x	x
Dilatación térmica	m ³	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	% en peso	1-3	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	F-B	E-F	E	E	x
Precios	€/m ²	4-10	6-25	5-10	x	5-10

Tabla 89 Propiedades del Poliestireno expandido según fabricantes. Precios

En cuanto a las propiedades mecánicas:

PROPIEDADES MECÁNICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 13163	BIBLIOGRAFÍA Pastor, 2012
Resistencia a compresión	KPa	x	x	30-250	60-250
Resistencia a tracción	KPa	x	x	x	x
Resistencia a flexión	KPa	x	x	50-350	100-300

Tabla 90 Propiedades mecánicas del Poliestireno expandido

PROPIEDADES MECÁNICAS	UNIDADES	EMPRESAS			
		BASF	Sundolitt	Knauf	Inosa
Resistencia a compresión	KPa	60-250	60-200	≥100	30-250
Resistencia a tracción	KPa	150-480	x	≥150	100-580
Resistencia a flexión	KPa	150-490	50	≥50-150	50-375

Tabla 91 Propiedades mecánicas del Poliestireno expandido según fabricantes

Para finalizar este apartado, se refleja en la siguiente tabla la compatibilidad del EPS con diferentes productos químicos:

SUSTANCIA		SUSTANCIA		SUSTANCIA		SUSTANCIA	
Agua	+	Ácidos débiles:		Ácidos débiles:		Acrilonitrilo	-
Agua del mar	+	Ácido carbónico	+	Ácido carbónico	+	Cetonas	-
Lejías:		Ácido cítrico	+	Ácido cítrico	+	Diluyentes para lacas	-
Agua amoniacal	+	Ácido húmico	+	Ácido húmico	+	Dimetilformamida	-
Agua de cal	+	Ácido láctico	+	Ácido láctico	+	Ester	-
Lejías blanqueantes	+	Ácido tartárico	+	Ácido tartárico	+	Eter	-
Potasa cáustica	+	Gases:		Gases:		Hidrocarburos halogenados	-
Soluciones jabonosas	+	a) Inorgánicos:		a) Inorgánicos:		Tetrahidrofurano	-
Sosa cáustica	+	Amoniaco	-	Amoniaco	-	Mat. Const. Inorgánicos:	
Ácidos diluidos:		Bromo	-	Bromo	-	Anhidrita	+
Ácido acético, 50%	+	Cloro	-	Cloro	-	Arena	+
Ácido clorhídrico, 7%	+	Dióxido de azufre	-	Dióxido de azufre	-	Cal	+
Ácido clorhídrico, 18%	+	b) Orgánicos:		b) Orgánicos:		Cemento	+
Ácido fluorhídrico, 4%	+	Butadieno	-	Butadieno	-	Yeso	+
Ácido fluorhídrico, 40%	+	Butano	-	Butano	-	Mat. Const. Orgánicos:	
Ácido fórmico, 50%	+	Buteno	-	Buteno	-	Bitumen	+
Ácido fosfórico, 7%	+	Etano	+	Etano	+	Bitumen frío/masillas	+
Ácido fosfórico, 50%	+	Eteno	+	Eteno	+	base acuosa	+
Ácido nítrico, 13%	+	Etino	+	Etino	+	Bitumen frío/masillas	+
Ácido nítrico, 50%	+	Gas natural	+	Gas natural	+	Base disolvente	-
Ácido sulfúrico, 10%	+	Metano	+	Metano	+	Hidrocar. aromáticos:	
Ácido sulfúrico, 50%	+	Óxido de propileno	-	Óxido de propileno	-	Benceno	-
Ácidos concentrados:		Propano	+	Propano	+	Cumeno	-
Ácido acético, 96%	-	Propeno	+	Propeno	+	Estireno	-
Ácido clorhídrico, 36%	+	Gases licuados:		Gases licuados:		Etilbenceno	-
Ácido fórmico, 99%	+	a) Inorgánicos:		a) Inorgánicos:		Fenol, sol. Acu. 1%	+
Ácido nítrico, 65%	+	Amoniaco	+	Amoniaco	+	Fenol, sol. Acu. 33%	+
Ácido propiónico, 99%	-	Dióxido de azufre	-	Dióxido de azufre	-	Tolueno	-
Ácido sulfúrico, 98%	+	Gases nobles	+	Gases nobles	+	Xileno	-
Ácidos fumantes:		Hidrógeno	+	Hidrógeno	+	Vapores de:	
Ácido nítrico	-	Nitrógeno	+	Nitrógeno	+	Alcanfor	-
Ácido sulfúrico	-	Oxígeno	+	Oxígeno	+	Naftalina	-
Anhidridos:		b) Orgánicos:		b) Orgánicos:			
Anhidrido acético	-	Butano	-	Butano	-		
Dióxido de carbono, sólido	+	Buteno	-	Buteno	-		
Trióxido de azufre	-	Butadieno	-	Butadieno	-		
		Etano	+	Etano	+		

+ Sin variación; ± Ligera variación; - Fuerte variación

Tabla 92 Compatibilidad del EPS con diferentes sustancias. Fuente: FENERCOM¹⁵⁹

¹⁵⁹ Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (Fenercom). *Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética*. Madrid:Fenercom, 2012 [consulta: 6 junio del 2016] Disponible en: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-materiales-aislantes-y-eficiencia-energetica-fenercom-2012.pdf>

3.26.6 Fabricantes

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Poliestireno expandido	INOSA Industrias del noroeste, S.A.	España	A Coruña	Polígono Industrial de Sabón, parcela 104 - 15142 Arteixo Tel.: 981 60 09 58 - e-mail: inosa@inosa.net
	Esva, espumas del Vallés, S.A.	España	Barcelona	C/ Pintor Vila Cinca, 20 - Pol. Ind- Can Humet de Dalt, 08213 Polinyà Tel.: 937 134 330 - info@espumasdelvalles.com
	Basf Española S.L.	España	Barcelona	C/ Compositor Vivaldi, 1-7; 08191
	Knauf	España	Barcelona	C/ La Selva 2 - Edificio Géminis, Parque empresarial Mas Blau, E-08820 El Prat de Llobregat www.knaufinsulation.es Tel.: +34 93 379 65 08 e-mail: hola@kanufinsulation.com
	Plastisol Cassà, S.L.	España	Girona	C/ Enric Coris, 57 - 17244 Cassà de la Selva - Tel.: 972 46 15 00 - e-mail: plastisol@cassa.com
	Polisur 2000, S.A.	España	Huelva	Carretera Nacional 444. km 2,95 - 21440 Lepe Tel.: 959 38 02 24 - e-mail: daVidmorina@polisur.es
	Sumiseran, S.L.	España	Huelva	C/ El Carmen nº16 - 21290 Galaroza - Tel.: 656 441 107 - e-mail: info@molduras.es Web: http://www.molduras.es
	Sundolitt, S.A.U.	España	Madrid	Camino del Barco, s/n 28700 San Sebastián de los Reyes Tel.: +34 91 653 09 00 - +34 91 653 40 11 - e-mail: spain@sundolitt.com
	Roycle, S.L.	España	Sevilla	Pol. Ind. Polysol c/ Polysol Cuatro 7 4100 - Alcalá de Guadaíra Tel.: 954 10 04 61 - e-mail: roycle@roycle.com
	Kunststoffwerk Katzbach GmbH & Co.KG	Alemania	Cham	Ziegeleiweg 20 – 93413 Tel.: (09971)40040-info@grupor.de
	Groupe SIPA	Francia		Ile de France – 01 42 43 97 20 Bourgogne – 03 80 95 17 78 contact@groupe-sipa.com
	Sunpor Kunststoff GmbH	Austria	St. Pölten	Postfach 414 Tiroler Strabe 14 3105
	Synthos Spółka Akcyjna	Polonia	Oswiecim	Ul. Chemików 1 32-600 Tel.: +48 33 844 18 21-synthos-pl@synthosgroup.com
	Expol de Fantin Elio & C. SNC	Italia	Vicenza	Via Verona 80-36077 Altavilla Vicentina Tel.: (+39) 344 002 0444-info@expol.it
	Poliart	Italia		Via Carraia 115, 55012-Parezzana Capannori Lucca Toscana

Tabla 93 Fabricantes de Poliestireno expandido en España y Europa



Mapa 31 Fabricantes de poliestireno expandido (EPS) en España



Mapa 32 Fabricantes de poliestireno expandido (EPS) en Europa

3.27. Poliestireno extruido

3.27.1 Naturaleza y composición

El poliestireno extruido, o extrusionado, también conocido por su acrónimo inglés *XPS* o *styrofoam*, es una espuma rígida resultante de la extrusión del poliestireno en presencia de un gas espumante. Se fabrica desde 2000 por la empresa *Dow Chemical*, que compró y desarrolló la patente al científico sueco C. G. Munters.

El poliestireno extruido comparte muchas características con el poliestireno expandido, pues su composición química es idéntica: aproximadamente un 92-95% de poliestireno y un 5-8% de gas. La diferencia radica únicamente en el proceso de conformación; pero es una diferencia crucial, ya que el extrusionado produce una estructura de burbuja cerrada.

3.27.2 Proceso de fabricación

El Poliestireno extruido o XPS es un material celular obtenido por la espumación mediante un proceso de extrusión del Poliestireno con la ayuda de un agente espumante físico (gas licuado). Las principales materias primas que se emplean en el proceso de fabricación son:

- Poliestireno en forma de granza.
- Diversos aditivos:
 - Nucleante: material que se encarga de asegurar que la estructura de las celdas en el interior del material a la salida de la extrusora sea lo más regular y pequeña posible. Debido a esto se pueden alcanzar altas prestaciones mecánicas en el producto final.
 - FR o retardante de llama: material encargado de limitar la propagación de una llama en el producto final mejorando la clasificación de reacción al fuego (retardantes halogenados).
 - Colorante: proporciona al producto final su característico color.
- Pequeña cantidad de producto final reciclado que previamente debe ser tratado.

El Poliestireno se almacena en silos donde el sistema de alimentación se encarga de bombear de forma continua la granza del Poliestireno y mezclarlo con el resto de aditivos. La mezcla alimenta la extrusora de manera continua.

El XPS se fabrica por extrusión mediante un sistema en tándem. Los sistemas tándem consisten en dos extrusoras montadas en serie, bien sean dos extrusoras monohusillo o una doble husillo con una monohusillo.

■ **Extrusión:** la mezcla de Poliestireno y aditivos alimenta la extrusora (1), mecanismo formado por una camisa calefactada en cuyo interior gira un husillo. El incremento de temperatura y presión que la mezcla sufre en el interior de la extrusora permite que se funda en una masa fluida que avanza de forma continua hacia la salida de esta. En esta etapa del proceso se realiza la inyección del agente espumante, ya que debe mezclarse de forma homogénea con el resto de materias primas.

A través de una manguera de conexión, la mezcla a presión del plástico fundido con el gas, pasa a la segunda extrusora (extrusora secundaria, 5) donde se homogeniza y estabiliza. En la salida de la extrusora el cambio a presión atmosférica de manera repentina provoca la gasificación del agente espumante, que al intentar escaparse permite la espumación de la masa, y además absorbe la temperatura del Poliestireno, enfriándolo y por tanto solidificándolo. La sección de la salida de la extrusora determina la sección de la banda continua de Poliestireno extruido que por ella sale.

■ **Corte:** el lateral de la banda de poliestireno extruido recibe un primer mecanizado el cortarse de forma recta, ajustando la anchura aproximada a la que va a ser el ancho final. En este proceso no se realiza aún el mecanizado lateral, ya que la banda está aún muy blanda y precisa de un proceso de estabilizado.

Inmediatamente después, mediante un mecanismo de guillotina, se cortan los paneles con la longitud deseada, interrumpiendo la continuidad del material que avanza por la cinta transportadora. Este sistema es completamente automático.

■ **Proceso de estabilización:** antes de mecanizar los paneles el gas asentado en su interior debe estabilizarse y los paneles alcanzar la temperatura ambiente. Por ello son colocados en una noria giratoria que los mantendrá en reposo durante un tiempo determinado. Tras haber superado ese tiempo el panel es devuelto a otra cinta transportadora para proseguir con el proceso de fresado y embalado.

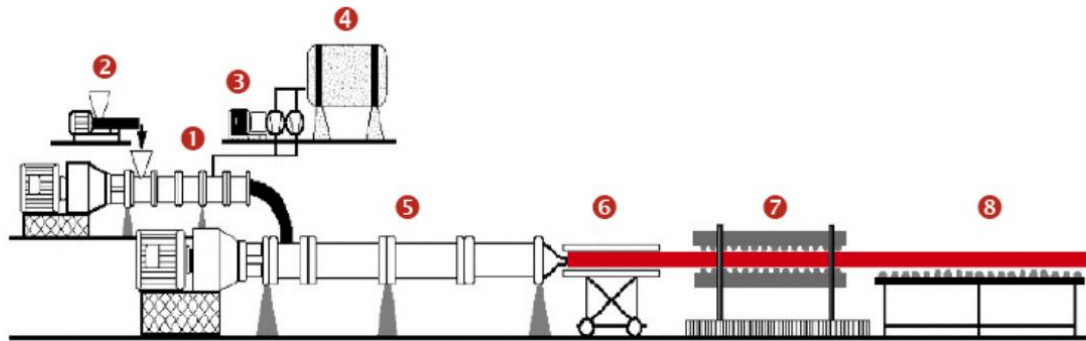
■ **Fresado:** la cinta transportadora introduce los paneles en la caseta de fresas donde estos son mecanizados. Una primera línea de fresas se encarga de realizar el mecanizado longitudinal para obtener la regularidad y tolerancias necesarias. Una segunda línea realiza el mecanizado transversal. Los diferentes mecanizados que pueden darse a los laterales del panel son el acabado recto, media madera o machiembrado.

■ **Embalado:** los paquetes una vez que salen de la caseta de fresas transversales entran en las diferentes máquinas de embalar. Éstas envuelven con film todo el paquete. El número de

planchas de cada paquete dependerá del espesor de las planchas. Posteriormente el paquete es introducido en un horno para contraer el film retráctil.

■ **Paletizado y flejado:** después de pasar por el horno los paquetes se dirigen a la paletizadora. Los paquetes se apilan sobre los pallets en seis alturas. Cuando se han completado las alturas, el palé es transportado a la flejadora. Los paquetes se flejan horizontalmente y verticalmente.

De esta manera el palé ya está listo para su almacenamiento y distribución.



1 Extrusora 2 Alimentación de sólidos (resina de PS, agente ignífugo, colorantes, etc) 3 Dosificación agente espumante 4 Depósito agente espumante (líquido) 5 Mezcladores (gel) 6 Plancha continua de espuma 7 Curado 8 Corte y embalaje

Ilustración 81 Proceso de fabricación del Poliestireno extruido. Fuente: anape¹⁶⁰

Tradicionalmente, para el espumado de XPS, se utilizaban gases de tipo HFC (134a), hidrocarburos (isobutano o pentano) o mezclas de los mismos. En los últimos años hay una tendencia a la sustitución parcial de estos gases por el CO₂ debido a que son sustancias tóxicas. Por lo que muchas empresas utilizan en la actualidad mezclas de CO₂ con otros solventes, beneficiándose de las ventajas del CO₂ como la no-inflamabilidad o el bajo coste.

3.27.3 Impacto medioambiental

Para producir Poliestireno se usan recursos naturales no renovables, ya que es un plástico derivado del petróleo. Tendremos en cuenta tres aspectos a la hora de analizar su impacto:

- Composición: como hemos dicho, a pesar de que es un 95-98% de aire y un 2-5% de Poliestireno, la obtención y fabricación de este último conlleva una serie de peligros para el medio ambiente. Un ejemplo de esto es que deriva del petróleo, un producto no renovable, el cual hay que transformar para obtener el material final (extracción y procesado de la materia prima, transporte)
- Energía: la empleada desde la extracción de la materia prima hasta el final de la vida útil del material.

¹⁶⁰ Proceso de fabricación del Poliestireno extruido. En: ANAPE [web] Madrid: ANAPE, 2012 [Consulta: 25 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.anape.es/index.php?accion=producto>

- CO₂ emitido en los procesos anteriores.

En el aspecto del tratamiento del producto una vez que finalice su vida útil, debemos evitar su incineración debido a los humos tóxicos que emite; y su destino al vertedero, ya que no es un producto fácilmente degradable, lo que ocasiona daños en el suelo o aguas subterráneas.

	λ (W/m.k)	R(m2.K/W)	e(mm)	COSTE ENERGÉTICO MJ/kg	EMISIONES CO2 kgCO2/kg
ITeC	0,034-0,037	1,176-1,081	40	147,42	21,76
	0,028-0,037	2,857-2,162	80	294,84	43,52
	0,031-0,037	3,226-2,703	100	368,55	54,40
FIVE	x	x	x	75-125	x
Libro ¹⁶¹	x	x	x	21,042	x

Tabla 94 Coste energético en la fabricación del XPS¹⁶²

3.27.4 Valorización

Este proceso se puede llevar a cabo con los siguientes procedimientos:

- Reciclaje mecánico: se procede a su lavado, triturado y una vez están convertidos en pellets o grana pueden reutilizarse en la producción de EPS o para incorporarlo a otros materiales como aglomerados, hormigón, acolchado de asientos,... También se pueden usar para mezclarlos con polímero virgen o para conformar productos plásticos rígidos. este tipo de reciclado requiere que el material se encuentre libre de impurezas y contaminación, no solo de sustancias tóxicas, sino también de otros plásticos o materiales. Este es uno de los inconvenientes más grandes para lograr un buen reciclaje físico, la separación de materiales.
- Reciclado químico: es una alternativa al reciclaje mecánico. Éste a diferencia del anterior implica cambios en la estructura química del material. Al basarse en una reacción química específica, no necesita los complicados pasos de purificación que son indispensables para el reciclado físico. Además, permite utilizar al desecho plástico como fuente de materia prima, no sólo para producir nuevamente el material original, como material virgen; sino producir otros materiales con diferentes características.

Existen varios procesos de reciclado químico, de los cuales los más importantes son: metanólisis, glicólisis e hidrólisis.

¹⁶¹ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

¹⁶² **R(m2.K/W)** → Valores de resistencia proporcionados por ITeC

λ (W/m.k) → Conductividad térmica proporcionada por ITeC

- Recuperación energética: incineración de estos materiales para aprovechar la energía que se desprende de este proceso, usándola para producir energía eléctrica. Aunque se debe tener en cuenta que el potencial de calentamiento global aumenta, conforme se produce CO₂ en el proceso de incineración. Este tipo de reciclado se lleva a cabo ya que la incineración de este tipo de plásticos aporta un gran poder calorífico como se puede ver en la imagen.

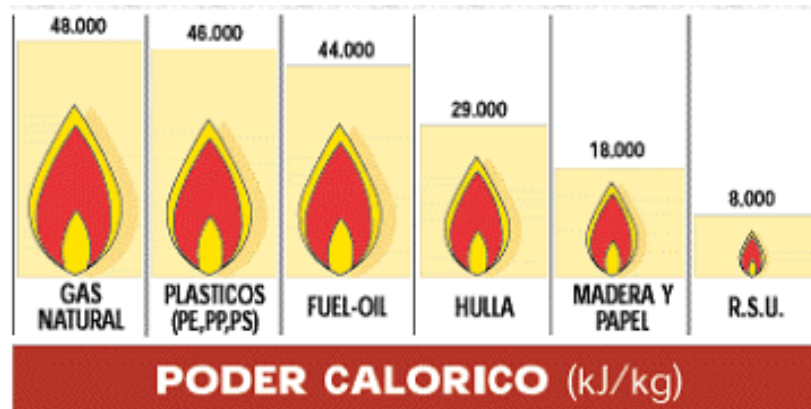


Ilustración 82 Poder calorífico aportado por la incineración de plásticos. Fuente: Universidad de Valladolid¹⁶³

- Vertedero es la última opción, junto con la incineración, a la hora de tratar este tipo de residuos. Esta opción, entre otras, la contrapartida más importante son los efectos causados sobre el suelo.

Frente al reciclado mecánico, el reciclado químico conlleva una serie de ventajas. Aunque se trata de un proceso más complejo y costoso, permite obtener un plástico prácticamente puro y realizar el reciclaje indefinidamente, ya que el polímero final no pierde propiedades. Por el contrario, el reciclado mecánico tiene un ciclo corto porque cada vez que se realiza el producto se degrada y pierde propiedades.

¹⁶³ Poder calorífico aportado por la incineración de plásticos. En: eis (Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid [web] [consulta: 26 junio 2016]. Disponible en: http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/imagenes/en_reciclado2.gif en http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/reciclado_auto/tiposdereciclado.htm

3.27.5 Propiedades

La estructura celular cerrada del poliestireno extruido le proporciona buenas prestaciones frente a la absorción de agua y como aislante térmico. La elevada rigidez de la estructura celular dada por la homogeneidad de las celdas proporciona, a su vez, una altísima capacidad de resistencia mecánica.

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 12524	BIBLIOGRAFÍA	
					Pastor, 2012	EcoHabitat
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,025-0,040	0,031-0,040	x	0,027-0,036	x
Densidad	kg/m3	x	20-50	20-65	10-60	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1450	1450	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	100-220	x	150	80-250	x
Dilatación térmica	m3	x	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	% en peso	x	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	E	x	E	x
Precios	€/m2	<15	7-25	x	x	x

Tabla 95 Propiedades del Poliestireno extruido. Precios

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS		
		URSA	Basf	Danosa
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,034-0,036	0,032-0,038	0,032-0,037
Densidad	kg/m3	x	x	32
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1450
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)		x	50-200	≥80
Coeficiente de dilatación térmica	mm/m.k	x	0,06-0,08	0,07
Capacidad higroscópica	% en peso	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	E	E	E
Precio	€/m2	7-35	6-25	5-30

Tabla 96 Propiedades del poliestireno extruido según fabricantes. Precios

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS	
		Fibran XPS	Chova
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,034-0,038	0,031-0,036
Densidad	kg/m3	30-33	x
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)		50-150	80
Coeficiente de dilatación térmica	mm/m.k	x	x
Capacidad higroscópica	% en peso	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	E	E
Precio	€/m2	x	19-43

Tabla 97 Propiedades del Poliestireno extruido según fabricantes. Precios

Poliestireno extruido

Sus propiedades mecánicas son:

PROPIEDADES MECÁNICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE 13164	BIBLIOGRAFÍA Pastor, 2012
Resistencia a compresión	KPa	x	100-700	150-1000	300-700
Resistencia a tracción	KPa	x	x	100-900	100-900
Resistencia a flexión	KPa	x	x	x	x

Tabla 98 Propiedades mecánicas del poliestireno extruido

PROPIEDADES MECÁNICAS	UNIDADES	EMPRESAS				
		URSA	Basf	DANOSA	Fibran XPS	Chova
Resistencia a compresión	KPa	125-500	200-700	≥300	200-700	≥200
Resistencia a tracción	KPa	x	x	x	≥300	≥900
Resistencia a flexión	KPa	x	x	x	x	≥900

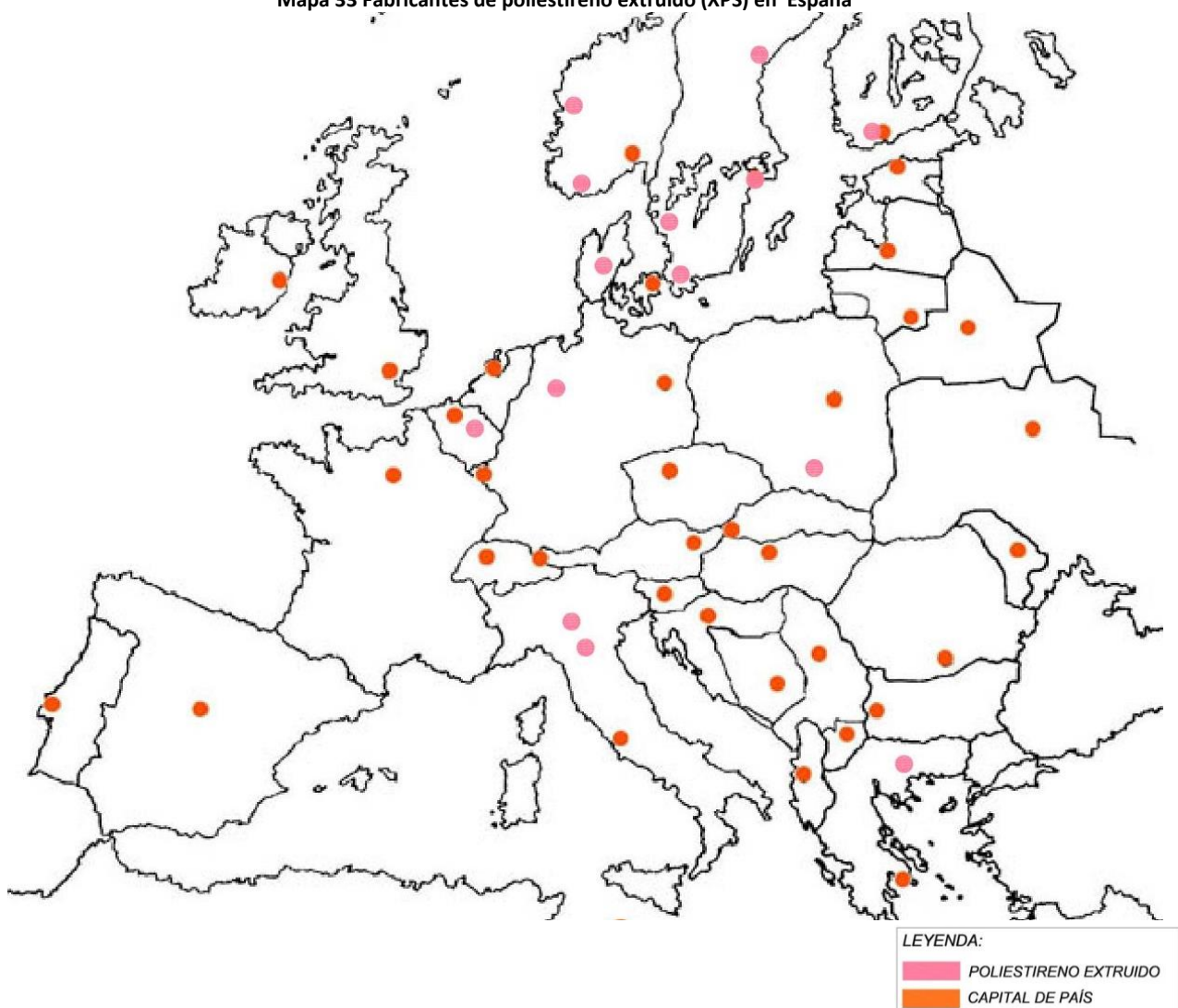
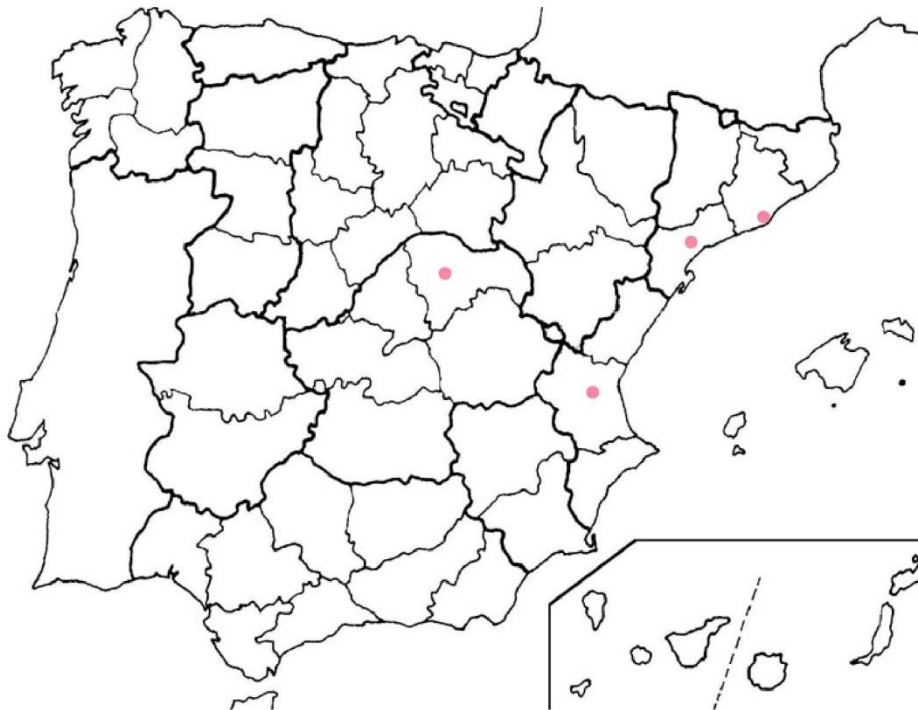
Tabla 99 Propiedades mecánicas del poliestireno extruido según fabricantes

3.27.6 Fabricantes

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Poliestireno extruido	URSA Ibérica Aislantes, S.A.	España	Tarragona	Carretera Vila-Rodona km7, El Plà de Santa María 43810 Tel.: +34 902 30 33 36/39 e-mail: webmaster.ursaiberica@ursa.com
	Topox	España	Tarragona	Polígono Industrial "El Mas Vell", Carrer d l'Oli, s/n - 43144 Vallmoll Tel.: +34 977 63 79 30 - info@topox.es
		España	Toledo	Ctra. CM-4006 km. 36 - 45740 Villasequilla
	Esva, espumas del Vallés, S.A.	España	Barcelona	C/ Pintor Vila Cinca, 20 - Pol. Ind- Can Humet de Dalt, 08213 Polinyà Tel.: 937 134 330 - info@espumasdelvalles.com
	Basf Española S.L.	España	Barcelona	C/ Compositor Vivaldi, 1-7; 08191
	Danosa, building together	España	Guadalajara	Poligono Industrial Sector 9 - 19290 Fontanar Tel.: +34 949 888 210 - info@danosa.com
	Chova impermeabilización y aislamiento	España	Valencia	Ctra. Tavernes-Liria, km. 4,3 - Apartado de correos 5 - 46760 Tavernes de la Valldigna Tel.: +34 96 282 21 50 - chova@chova.com
	Iberfibram-Poliestireno Extruido, S.A.	Portugal	Ovar	Av. 16 de Maio, Zona Industrial de Ovar 3880-102 Tel.: +351 256 579 670 - e-mail: iberfibram@iberfibran.pt
	Synthos Spółka Akcyjna	Polonia	Oswiecim	Ul. Chemików 1 32-600 Tel.: +48 33 844 18 21-synthos-pl@synthosgroup.com
	Fibrotermica	Italia		Via Nazario Sauro, 58/a Barco Bibbiano 42021- fibrotermica@fibrotermica.it
	S.T.S. Polistiroli S.r.l.	Italia	Villafranca di Verona	Via Ortigara 28 e Via Tofane 3/c info@stspolistiroli.it
	Jackson Insulation GmbH	Noruega	Gressvik	Sorkil 3 1621 – Tel.: 69 36 33 00 jackon@jackon.no
		Alemania Suecia Finlandia	Steinhagen	Carl-Benz-Strabe 8 D-33803 Tel.: +49 (0) 5204/99 55 0
	Fibran energyshield	Grecia		6º km Tesalónica-Oraiokaastro 57013 Oreokaastro Tesalónica

Tabla 100 Fabricantes de Poliestireno extruido en España y Europa

Poliestireno extruido



3.28. Poliuretano

3.28.1 Naturaleza y composición

En la década de los años 30, el profesor Otto Bayer, responsable del departamento de investigación de la empresa BAYER, AG., pero sin ninguna relación con el fundador de la misma, estaba dispuesto a encontrar una fibra sintética similar a la poliamida que los norteamericanos habían descubierto por aquel entonces. Durante mucho tiempo se creyó que lo que se estaba buscando no iba a tener ninguna utilidad práctica, pero en 1941 y a raíz de una serie de experimentos fracasados se encontró el primer atisbo de lo que más tarde conoceríamos como espuma de poliuretano.

En los citados experimentos se producían una gran cantidad de burbujas por una reacción hasta entonces no del todo conocida, por lo que todas las pruebas realizadas fueron devueltas por la Oficina de Control con una nota de tipo burlesco que decía: "Utilizables sólo para la fabricación de quesos suizos", pero el profesor Otto, siguió con sus pruebas y muy pronto encontró la causa de la formación de tantas burbujas, que no era otra que la reacción de los poliésteres con los isocianatos que al mismo tiempo desprendían anhídrido carbónico. Se provocó después la separación consciente del anhídrido carbónico y la formación de espuma mediante la adición de pequeñas cantidades de agua, lo que supuso, por así decirlo, la primera obtención de espuma de poliuretano. La primera fabricación, con medios mecánicos, de espuma de poliuretano, se obtuvo en el año 1947. El empleo generalizado de los poliuretanos se produjo durante la Segunda Guerra Mundial como sustituto del caucho, caro y difícil de obtener en aquella época. Durante esta guerra se desarrollaron otras aplicaciones para los poliuretanos, sobre todo en lo referente a recubrimientos de todo tipo, desde acabados de aviones hasta ropas resistentes.

En los años cincuenta los poliuretanos se utilizaban para la creación de adhesivos, elastómeros y espumas rígidas y, al final de la década, en espumas de acolchado flexibles similares a las actuales. La producción de poliuretano a escala industrial no se inició hasta 1952. Entonces salían de la fábrica de Bayer en Leverkusen unas 100 toneladas de materias primas de poliuretano al año. Hoy día se estima el consumo mundial de poliuretano en cerca de siete millones de toneladas anuales.

Los poliuretanos se llaman así a los materiales fabricados mediante una polimerización de uretano. Al igual que el resto de plásticos, los poliuretanos son polímeros fabricados a partir de la reacción de isocianatos (isocianato de metilendifenilo, MDI, o isocianato de tolueno, TDI) con distintos polioles (éter y éster); su relación es de aproximadamente 100:100¹⁶⁴. En función del producto final, su formulación química puede contener otros compuestos como catalizadores,

¹⁶⁴ PASTOR JUAN, Alfonso. *Dossier: Aislantes térmicos en la edificación. Materiales. Exigencias normativas. Directorios*. Alicante: Stampa Edición Digital, S.L. 2012, 72p. ISBN 978-84-938147-2-4

agentes de expansión (normalmente CO₂, gas HCFC, hoy en discusión, pentano o mezcla de los anteriores) e incluso pirorretardantes. Esta doble posibilidad viene originada por la exigencia de un cierto aislamiento acústico al material ya que, en principio, ambos tienen su particularidad en el alto aislamiento térmico que le confiere la celda cerrada. El poliuretano de celda cerrada contiene un máximo de un 10% de celdas abiertas.

Pueden ser de dos tipos: Poliuretanos termoestables o poliuretanos termoplásticos. Los poliuretanos termoestables más habituales son espumas, muy utilizadas como aislantes térmicos y como espumas resilientes. Entre los poliuretanos termoplásticos más habituales destacan los empleados en elastómeros, adhesivos selladores de alto rendimiento, suelas de calzado, pinturas, fibras textiles, sellantes, embalajes, juntas, preservativos, componentes de automóvil, en la industria de la construcción, del mueble y múltiples aplicaciones más.

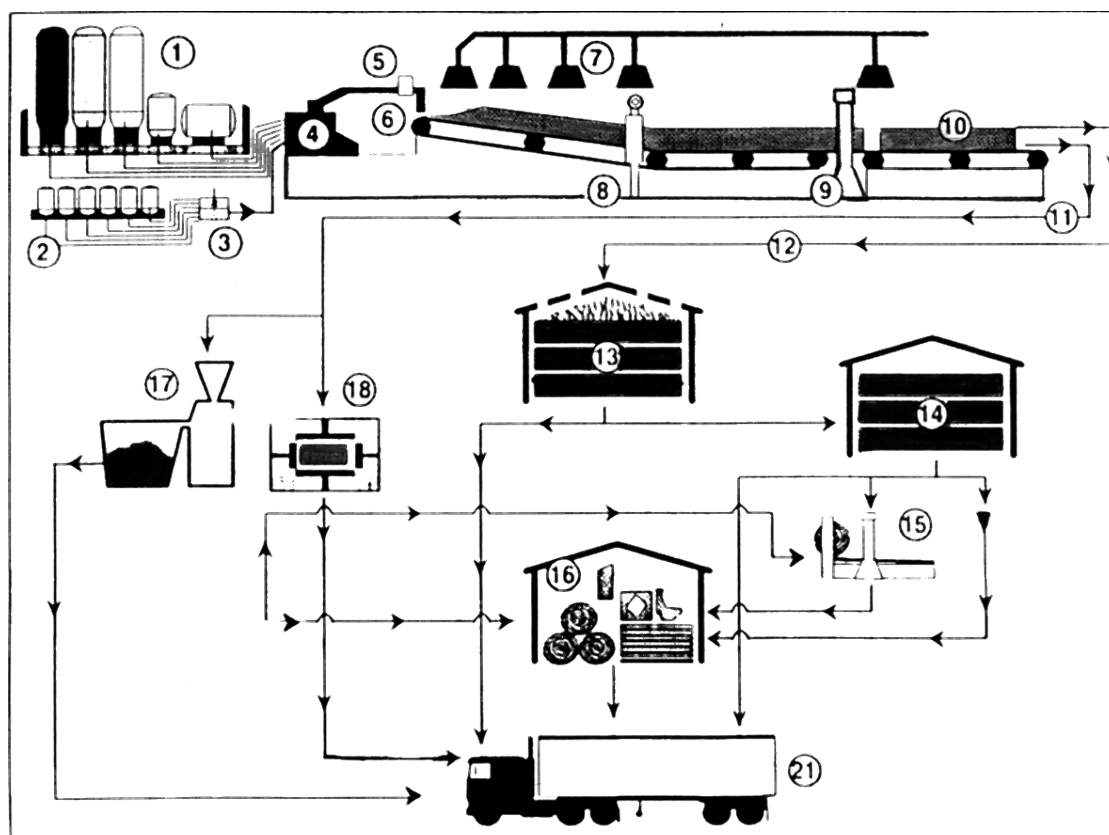
3.28.2 Proceso de fabricación

En general el proceso de producción de las panchas es el siguiente:

1. En la primera etapa del proceso las materias primas almacenadas en cisternas se mezclan en el cabezal de la máquina de espumación: isocianato (derivado del cianuro) y polioliol se mezclan en presencia de catalizadores y activadores adecuados. La adecuada combinación de los componentes es esencial para producir una espuma homogénea.
2. Tras la mezcla, el líquido es vertido sobre una cinta transportadora limitada lateralmente por dos paredes verticales que constituyen el túnel de espumación, el cual actúa a modo de molde. La polimerización y la simultánea espumación se inician a los pocos segundos de haberse combinado todos los componentes. En consecuencia, se produce un aumento de volumen y viscosidad del material hasta finalizar en la compactación del mismo.
3. A medida que avanza el bloque de espuma por la cinta transportadora, éste se forra con bandas de papel, las cuales avanzan a la misma velocidad que la cinta y actúan como guía del bloque. Al final del túnel de espumación, el papel se recoge en dos rodillos laterales, un rodillo basal y otro superior.
4. Posteriormente los bloques (ilustración 83¹⁶⁵) son cortados y transportados a la sala de curado donde deben reposar, al menos, 24 horas. El proceso de espumación es una reacción exotérmica en la que la espuma puede llegar a alcanzar, en el interior del bloque, temperaturas

¹⁶⁵ [Placas de poliuretano] En: Materiels world [en línea] Barcelona: [s.n.], 2016 [consulta 13 junio 2016]
Disponible en:
http://www.mwmaterialsworld.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/p/o/poliuretano-r_gido.jpg en <http://www.mwmaterialsworld.com/es/espuma-rigida-de-poliuretano-35-kg-m3.html>

comprendidas entre los 160-170 °C y, por ello, requiere de bastante tiempo para descender a la temperatura ambiental.



1. Almacenamiento materias primas
2. Almacenamiento materias auxiliares
3. Bombas
4. Máquina de espumación
5. Mezclador
6. Cabezal máquina
7. Extractores de gases
8. Recogida papel
9. Cortadora bloques
10. Salida bloques
11. Línea de subproductos
12. Línea de bloques
13. Almacén curado de bloques
14. Almacén bloques
15. Transformación bloques
16. Almacén producto terminado
17. Picado de subproductos
18. Prensado de subproductos
19. Transporte (21)

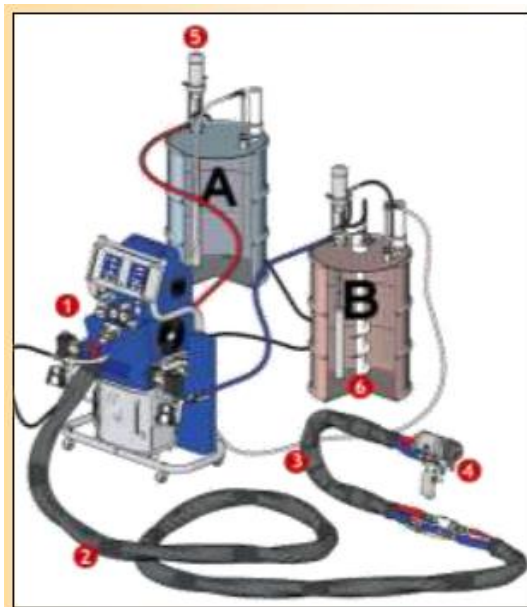
Ilustración 83 Proceso de fabricación planchas de poliuretano. Fuente: Tepol, S.A.¹⁶⁶

¹⁶⁶ Producción de planchas de poliuretano [en línea], 2016. [Proceso de fabricación planchas de poliuretano] [consulta: 13 junio de 2016] Disponible en: http://www.tepolsa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=7

Los componentes para espumas de poliuretano se suministran bajo la forma de líquido homogéneo a temperatura ambiente, en envases provistos de marcas, referencias y precintos que expresen su origen, naturaleza y fecha de caducidad. En el envase que contenga el conjunto de productos en que va incluido el componente con funciones químicas, se hará constar la palabra "Isocianato". En el envase que contenga los compuestos con hidrógenos activos (tipo hidroxilos), se hará constar la palabra "Poliol".

Existen dos sistemas de fabricación que conducen a dos productos diferenciados:

- Espuma rígida de poliuretano aplicada in situ por proyección, o poliuretano proyectado, que se obtiene mediante pulverización simultánea de dos componentes sobre una superficie denominada sustrato. La mezcla tiene lugar en una reducida cámara en la pistola proyectora. Desde cada uno de los tambores de los componentes, estos son impulsados por medio de bombas dosificadoras hasta la cámara de mezcla de la pistola (ilustración 84¹⁶⁷). En estos sistemas de proyección, la reacción se completa en unos diez segundos.



Esquema de una máquina para proyectar espuma de poliuretano:

A- Componente Isocianato

B- Componente Polioliol

1- Máquina de proyección

2- Manguera calefactada

3- Empalme de manguera

4- Pistola

5- Bombas de trasiego

6- Agitador

- Espuma rígida de poliuretano aplicado in situ por colada, o poliuretano inyectado, en el que los dos componentes se mezclan físicamente por batido y se introducen en una cavidad donde se realiza la expansión. Un retardador reactivo facilita la colocación

del poliuretano por toda la cavidad, de manera que tiene un tiempo de "crema" entre 10 y 20 segundos y un tiempo de gel de entre 40 y 80 segundos. El agente espumante en este caso es el CO₂ y agua.

Ilustración 84 Esquema máquina para proyectar PUR.
Fuente: Libro blanco del poliuretano

¹⁶⁷ Atepa. *Libro blanco del poliuretano proyectado e inyectado* [en línea] Madrid: AISLA, Asociación de Instaladores de Aislamiento, marzo 2016 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.atepa.org/PUR.pdf>



Ilustración 85 Proceso de espumación del poliuretano. Fuente: FENERCOM¹⁶⁸

Una vez mezclados los componentes, se produce una reacción exotérmica (se libera calor) y la mezcla generará la espuma con un volumen aproximado de 25 veces el volumen de los componentes en estado líquido como se puede observar en la imagen anterior.

Como se ha explicado el poliuretano lo podemos encontrar en forma de placas rígidas y espuma.

3.28.3 Impacto medioambiental

Los impactos medioambientales que genera el poliuretano a lo largo de su ciclo de vida pueden ser:

- ➔ El uso de combustibles fósiles: la espuma de poliuretano se realiza principalmente a partir del petróleo y su fabricación y transporte puede requerir el uso adicional de combustible fósil.
- ➔ Eliminación: la eliminación o quema de espuma de poliuretano inadecuada pueden liberar una serie de toxinas peligrosas en el aire. Entre las toxinas más peligrosas liberadas son el monóxido de carbono, cianuro de hidrógeno y dioxinas, todo perjudicial para el medio ambiente y la salud humana.
- ➔ Calentamiento global: la espuma de poliuretano es producido con hidrofluorocarbonos (HFC) agentes que actúan como potentes gases de efecto invernadero.

Es importante hablar, también, de los efectos sobre la salud de los componentes de este material. Con respecto a los isocianatos podemos distinguir tres tipos¹⁶⁹:

¹⁶⁸ Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (Fenercom). *Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética*. Madrid: Fenercom, 2012, pág.47 [consulta: 6 junio del 2016] Disponible en: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-materiales-aislantes-y-eficiencia-energetica-fenercom-2012.pdf>

¹⁶⁹ Asepeyo. *Riesgo de exposición a isocianatos* [en línea] España: Asepeyo, Prevención, 2005 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.ladep.es/ficheros/documentos/HAQ0504012%2520Riesgo%2520de%2520exposici%25C3%25B3n%2520a%2520isocianatos.pdf>

- TDI: es el más empleado, extremadamente volátil, clasificado por la comunidad europea como “muy tóxico”. Las patologías debidas a este compuesto son irritación conjuntiva, lagrimeo e irritación en la faringe. Más adelante se presentan problemas respiratorios con tos seca, dolor torácico y dificultad respiratoria.
- MDI: sustancia menos volátil y con efectos tóxicos similares.
- HDI: menos empleada. Altamente irritante para la piel y los ojos.

En su composición contienen sustancias químicas peligrosas como el benceno, un agente cancerígeno y el tolueno, y supone un peligro potencial y un problema importante para el medio ambiente durante el proceso de producción de la materia prima, transporte, fabricación e instalación.

A pesar de que los clorofluorocarburos CFC ya no se utilizan, muchos utilizan hidroclorofluorocarbonos HCFCs o HFCs como agentes espumantes, ambos son tóxicos para la salud humana, potentes gases de efecto invernadero y son perjudiciales para la capa de ozono. Estos derivados de los hidrocarburos se utilizan comúnmente como solventes en la manufactura de la espuma de poliuretano.

Además, el poliuretano es un material que mantiene la combustión en presencia de llama y produce humos y gases tóxicos como CO, HCl y HCN al quemarse.

Como protección personal, los trabajadores deberán proveerse de ropa impermeable completa, guantes hasta el codo, usar gafas o pantallas que aseguren una protección completa del ojo contra vapores y salpicaduras. Si es necesaria, se usarán combinadas con la protección respiratoria (mascarillas respiratorias con filtros, con aporte de aire automátas o semiautomáticas.

	Vm fabricantes			COSTE ENERGÉTICO	EMISIONES CO2
	ρ (kg/m ³)	ρ (kg/m ³) ITeC	e(mm)	MJ/kg	kgCO2/kg
ITeC	40	40	20	58,80	8,68
	40	40	40	117,60	17,36
	40	40	80	235,20	34,72
FIVE	x	x	x	70-125	x
Libro ¹⁷⁰ planchas	x	x	x	138,69	x
Esp.proyectada	x	x	x	24,87	x

Tabla 101 Coste energético de la fabricación de productos de poliuretano¹⁷¹

¹⁷⁰ SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

¹⁷¹ Vm fabricantes → valores medios de densidad proporcionados por fabricantes (ver gráficos 10 y 11)

ρ (kg/m³) → Densidad teórica (ver datos de la tabla 116)

ρ (kg/m³) ITeC → Densidad aproximada al valor anterior proporcionada por ITeC

3.28.4 Valorización

El poliuretano es un material que históricamente ha ido a parar a los vertederos. La principal dificultad para el reciclado de productos de poliuretano es simplemente el coste. Una de las razones para que esto sea así es la infraestructura existente para la recogida y procesamiento de poliuretanos recuperados que hasta el momento no ha alcanzado un tamaño crítico. Otro factor que ha detenido el avance del reciclado es que cada sistema debe ser adaptado al material en particular que está siendo procesado. No existe un único método de reciclado que sea adecuado para todas las químicas del poliuretano. Además, está presente el problema intrínseco de que resulta difícil separar el producto al estar proyectado sobre otros materiales como hormigón, acero o cerámica, haciendo aún más complicado su tratamiento.

Así, es muy importante poder reciclar este tipo de materiales tan usados en la actualidad, no solo en la construcción, sino también en muchos sectores de la industria como podemos ver en la siguiente imagen:

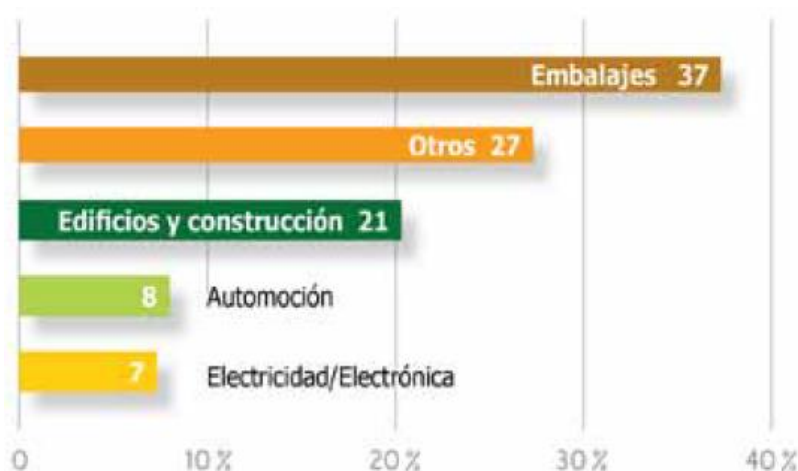


Tabla 102 Usos del poliuretano en la industria. Fuente: PU europe¹⁷²

Con la reutilización y reciclado de estos materiales optimizaremos el uso global de recursos no renovables y minimizaremos la contaminación medioambiental reduciendo, por ejemplo, distancias de transporte. Por esto es importante conocer los procesos de reciclado.

¹⁷² [Usos del poliuretano en la industria] En: PU europe, excellence in insulation. *Aislamiento de poliuretano y gestión de residuos en el contexto de la eficiencia de los recursos* [en línea] PU europe, excellence in insulation, 2013 [Consulta: 13 junio del 2016]. Disponible en: <http://www.atepa.org/pictures/pdf/66.pdf>



Ilustración 86 Fase de granulación del poliuretano en su proceso de reciclado. Fuente: mimbrea¹⁷³

Los poliuretanos, por sí solos, se pueden reciclar de diversas formas:

- Reciclaje mecánico: los poliuretanos pueden ser triturados y una vez están convertidos en polvo pueden reutilizarse en la producción de nuevas espumas. Los gránulos de espuma flexibles finamente triturados pueden ser enlazados entre ellos dando lugar a productos que se usan en prendas deportivas. Estos productos enlazados se pueden enlazar otra vez dando lugar a un ciclo de aprovechamiento bastante largo.
- Reciclado químico: describe la conversión química de poliuretanos para producir polioles para aplicaciones de segunda vida. Se han desarrollado las siguientes técnicas: hidrólisis, aminólisis, glicólisis, pirolisis, hidrogenación y gasificación. Las tres primeras emplean agua, alcoholes y aminas respectivamente para romper el polímero y así obtener poliol y diaminas aromáticas (producto de hidrólisis del diisocianato). Y las tres últimas son procesos de carácter termoquímico. Hoy, está operando en Europa un pequeño número de plantas de glicólisis. Procesan residuos no contaminados de composición conocida, principalmente residuos de producción. De acuerdo con la tecnología más reciente, alrededor del 30% de los polioles usados en espuma de PU rígido puede proceder de glicólisis sin que ello afecte a la calidad del producto.
- Recuperación energética: en Europa ISOPA (European Isocyanate Producer Association) controla la incineración de poliuretanos, la energía que se desprende de este proceso se usa en producir energía eléctrica. Por otra parte, el potencial de calentamiento global aumenta, conforme se produce CO₂ en el proceso de incineración.

¹⁷³ Fase de granulación del poliuretano en su proceso de reciclado. En: Mimbrea [web] [S.I.]: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. [ca. 2012] [consulta: 13 de junio de 2016] Disponible en: http://www.mimbrea.com/wp-content/uploads/2012/10/12_10_31_Poliuretano_fase_granulacion_reciclado.jpg

- Vertedero es la última opción a la hora de tratar este tipo de residuos. Esta opción, entre otras, la contrapartida más importante son los efectos causados sobre el suelo.

Frente al reciclado mecánico, el reciclado químico conlleva una serie de ventajas. Aunque se trata de un proceso más complejo y costoso, permite obtener un plástico prácticamente puro y realizar el reciclaje indefinidamente, ya que el polímero final no pierde propiedades. Por el contrario, el reciclado mecánico tiene un ciclo corto porque cada vez que se realiza las espumas pierden propiedades.

3.28.5 Propiedades

La alta capacidad aislante del poliuretano proyectado se debe a la baja conductividad térmica que posee el gas espumante ocluido en el interior de las celdas cerradas. El gas que lo proyecta variará los valores de la conductividad térmica tomando valores de 0.028 W/m.k si es gas hidrofluorcarbono (HFC) y un valor de 0.035 W/m.k si el gas es CO₂.

La densidad del producto es determinada por la cantidad de agente de expansión utilizado y la flexibilidad o rigidez por el tipo de polioles y isocianatos empleados.

El inconveniente principal que tienen las espumas de poliuretano, es que son degradadas por los rayos ultravioletas, por lo cual no pueden quedar expuestas a la radiación solar, debiendo ser protegidas de los mismos en el caso de aplicaciones exteriores.

Una característica clave para las espumas rígidas es el Contenido de Celdas Cerradas (CCC). El porcentaje de celdas cerradas influye directamente en propiedades fundamentales de la espuma, como la conductividad térmica, la estanqueidad al agua, la estabilidad dimensional, la absorción acústica y la permeabilidad al vapor de agua. El Poliuretano proyectado para aislamiento térmico ha sido tradicionalmente de celda cerrada, aunque últimamente se están introduciendo en el mercado productos de celda abierta. La norma europea EN 14315-1 clasifica la espuma en 4 categorías:

Clases	Contenido celda cerrada
CCC1	<20%
CCC2	20% a 80%
CCC3	>80% a 89%
CCC4	≥90%

Tabla 103 Clasificación de la espuma según contenido de celda cerrada. Fuente: IPUR¹⁷⁴

¹⁷⁴ [Clasificación de la espuma según contenido de celda cerrada] En: IPUR. *Influencia del contenido de celda cerrada en las propiedades del poliuretano proyectado* [en línea] IPUR, Asociación de la Industria del

Poliuretano



Ilustración 87 Diferencia entre celda cerrada y celda abierta. Fuente: BASF¹⁷⁵

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	FIVE	ITeC	UNE	
				12524	
				Esp.rígida	Proyectada
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,019-0,040	0,023-0,030	x	x
Densidad	kg/m ³	x	x	28-55	30-50
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	1400	1400
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	60-150	x	60	60
Dilatación térmica	m ³	x	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	x	x
Contenido de las celdas	-----	x	x	x	x
Precios	€/m ²	x	10-15	x	x

Tabla 104 Propiedades poliuretano. Precios

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	BIBLIOGRAFÍA		
		Pastor, 2012		EcoHabitat
		Celda abierta	C.cerrada	
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,035-0,040	0,028	0,023
Densidad	kg/m ³	<30	30-52	30-60
Calor específico (Cp)	J/kg.k	1400	1400	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	<10	60< μ <120	60-150
Dilatación térmica	m ³	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	Desde E-C	Desde E-C	Desde E-C
Contenido de las celdas	-----	Aire	Gases	x

Tabla 105 Propiedades poliuretano

Poliuretano Rígido, 2011. [Consulta: 13 junio del 2016]. Disponible en:

<http://www.atempa.org/pictures/pdf/16.pdf>

¹⁷⁵ [Diferencia entre celda cerrada y celda abierta] En: BASF. *Poliuretano proyectado. Celda cerrada vs celda abierta. Apariencia similar, prestaciones diferentes* [en línea] Barcelona: BASF, 2013 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.atempa.org/pictures/pdf/59.pdf>

Poliuretano

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	EMPRESAS		
		Atepa		Poliuretanos S.A.
		Celda abierta	Celda cerrada	
Coeficiente conductividad térmica (λ)	W/m.k	0,032-0,040	0,028	0,022-0,030
Densidad	kg/m3	25-35	35-40	35-450
Calor específico (Cp)	J/kg.k	x	x	x
Resist. a la difusión de vapor de agua (μ)	-----	<10	60< μ <100	x
Dilatación térmica	m3	x	x	x
Capacidad higroscópica	%en peso	x	x	x
Reacción al fuego	Euroclases	x	x	E
Precios	€/m2	x	x	8-20

Tabla 106 Propiedades poliuretano y espuma de poliuretano según fabricantes. Precios

Las anteriores propiedades también se pueden aplicar a la espuma de poliisocianurato.

3.28.6 Fabricantes

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Poliuretano	Trespol Espuma S.L.	España	Córdoba	Carretera de la Vega, km. 0,5 - Villa del Río - Tel.: +34 (957) 17 66 71
	Quilosa	España	Madrid	Calle Marie Curie 17-19, Planta 6,1, 28521 Rivas-Vaciamadrid - Tel.: 902 02 18 02 - www.quilosa.com
	Tepol, S.A.	España	Toledo	Crta. Seseña a Esquivias km. 1, 300 - 45223, Seseña Tel.: 91 893 60 38 - tepol@tepolsa.com
	Poliuretanos S.A.	España	Girona	Crta. C-65 km 16 Pol. Ind. El Trust - 17244 Cassà de la Selva Tel.: +34 972 46 04 72 - info@poliuretanos.com
		España	Pontevedra	Ctra. De Tuy s/n. Guillarrey 36720 - Tel.: +34 986 60 14 22
	Basf Española S.L.	España	Barcelona	C/ Compositor Vivaldi, 1-7; 08191
	Esva, espumas del Vallés, S.A.	España	Barcelona	C/ Pintor Vila Cinca, 20 - Pol. Ind-Can Humet de Dalt, 08213 Polinyà Tel.: 937 134 330 - info@espumasdelvalles.com
	Obiform	España	Barcelona	Carretera N-II, Km. 592,2 - 08740 Sant Andreu de la Barca Tel.: (+34) 93 682 41 11 - info@obiform.com
	Synthesia Internacional, S.L.	España	Barcelona	C/ Argent, 3, 08755 Castellbisbal - Tel.: +34 93 682 13 00 - email: cservice@synthesia.com
	Huntsman Performance Products Spain S.L.	España	Barcelona	Carrer 43, 10, 08040 - 933 36 97 00
	Dow Chemical Ibérica, S.L.	España	Tarragona	Autovía Tarragona-Salou, s/n, 43080 - Tel.: 977 55 92 00
	Recticel	Austria	Wien	Business Park Vienna - Wienerbergstrasse 7,8 OG - 1100 Tel.: +43 160 221 540 - office@euro-foam.com http://www.recticel.com
	Nestaan Holland BV	Holanda	Tholen	Slabbecoornweg 31-33 - 4691 RZ Tel.: 31166605605 - info@netaan.nl

Tabla 107 Fabricantes de aislante de poliuretano en España y Europa

Poliuretano



Mapa 35 Fabricantes de Poliuretano (PUR) en España



Mapa 36 Fabricantes de poliuretano (PUR) en Europa

3.29. Otros aislantes

3.29.1 Cañas

El carrizo, *Phragmites australis* (ilustración 88¹⁷⁶), es una planta perenne, con un rizoma rastrero con capacidad para crecer en la superficie buscando agua. Puede alcanzar los 4m de altura y 2 cm de diámetro, presentando una gran inflorescencia al final del tallo. Es una caña muy fina de comportamiento invasor que ha sido utilizado ancestralmente en otras latitudes europeas para cubiertas de casas. Aunque actualmente la procedencia de la materia prima es principalmente del mediterráneo, los principales productores y usuarios son países de Europa Central y del Norte como Austria y Alemania.



Ilustración 88 *Phragmites australis*. Fuente: science.halleyhosting

Por sus propias características físicas, si su recolección y almacenamiento ocurre en condiciones apropiadas, no necesita tratamientos o aditivos, su confección es manual o de muy baja tecnología. Con esta materia prima, se elaboran paneles cosidos con alambre galvanizado que se apilan y se comprimen en paralelo; aunque hay fabricantes que han sustituido el metal por colas blancas.

Los paneles de cañas (ilustración 89¹⁷⁷) tienen de 20 a 100 mm de espesor de lámina. Los paneles se suelen clavar a la pared. Con un coeficiente de entre 0,045-0,060 W/m·K, estos paneles son parte de los materiales más aislantes para aislamiento exterior, además de buenos soportes de revestimientos de arcilla y cal tanto para interior como exterior.



Ilustración 89 Paneles de cañas. Fuente: GONZÁLEZ, Víctor

¹⁷⁶ [*Phragmites australis*] En: science.halleyhosting [en línea]. *Phragmites australis ssp. australis*, 2013. [Consulta: 22 de mayo de 2016] Disponible en: <http://science.halleyhosting.com/nature/basin/poaceae/phragmites/australis/australis4a.jpg> en <http://science.halleyhosting.com/nature/basin/poaceae/phragmites/australis.html>

¹⁷⁷ [Paneles de cañas]. Fuente: GONZÁLEZ, Víctor, *Aislamiento de Phragmites australis* [correo electrónico]. 22 maio 2016

Otros aislantes

Cañas

Con respeto a sus propiedades podemos destacar que poseen una densidad de entre 190-225 kg/m³, un coeficiente de difusión al vapor de agua (μ) de 2 y su calor específico es de aproximadamente de 1300 J/kg·K.¹⁷⁸

Cada año es necesario aclarar los espacios de crecimiento del carrizo, para no entorpecer el paso de las aguas o quitar espacio de vida al resto de la flora de esta reserva natural. Paradójicamente no encuentra uso en las regiones donde en estos momentos es más abundante.

No se conocen consecuencias negativas para la salud, en su fabricación ni en su colocación.

Los residuos pueden, retirándose el alambre, descomponerse fácilmente en compostaje o en la naturaleza o pueden eliminarse en tratamientos térmicos.



Ilustración 90 Panel aislante de cañas. Fuente: Cannabric¹⁷⁹

¹⁷⁸ Información obtenida de:

PASTOR JUAN, Alfonso. *Dossier: Aislantes térmicos en la edificación. Materiales. Exigencias normativas. Directorios*. Alicante: Stampa Edición Digital, S.L. 2012, 72p. ISBN 978-84-938147-2-4
<http://isolation31.canalblog.com/archives/2009/03/18/13024388.html>

GONZÁLEZ, Víctor, *Aislamiento de Phragmites australis* [correo electrónico]. 22 maio 2016

Phragmites australis. *Wikipedia: la enciclopedia libre* [en línea] 4 enero 2016 [consulta: 22 mayo 2016]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Phragmites_australis

GÜNTHER, Stephan. Caña – ecológica y económicamente un aislante muy bueno. En: energieheld. Einfach energetisch sanieren. [web] [S.l.:sn.] [Consulta: 22 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.energieheld.de/daemmung/daemmstoffe/schilf>

¹⁷⁹ Panel aislante de cañas. En: Cannabric [en línea]. *Panel aislante de cañas*, 2009. [Consulta: 22 de mayo de 2016] Disponible en: http://www.cannabric.com/catalogo/panel_aislante_de_canas/

3.29.2 Cascarilla de arroz

El arroz, forma parte de un grupo de 19 especies de hierbas anuales de la familia de las Gramíneas, aunque es el arroz común (*Oryza sativa*) la única especie importante para el consumo humano. Algunos historiadores afirman que este cereal es nativo del Sureste asiático y se cultiva desde hace más de 7.000 años. Se tienen evidencias de su cultivo, anteriores al año 5.000 a.C. en el oriente de China, y antes del año 6.000 a.C. en una caverna del norte de Tailandia.



Ilustración 91 Cascarilla de arroz. Fuente: 123rf

La cascarilla de arroz (ilustración 91¹⁸⁰) es el recubrimiento del grano de arroz, su tamaño oscila entre los 5 y 11 mm. Su apariencia superficial es irregular con un patrón de ranuras longitudinales (superficie 'dentada') que le confieren propiedades altamente abrasivas. Esta se obtiene a través del proceso de procesamiento del grano para consumo humano, en la que es considerada un desecho. La composición química de la cascarilla es la siguiente:

Elemento	% en peso
Carbono	39-42
Oxígeno	32-34
Minerales	14-24
Hidrógeno	4-5
Nitrógeno	0,3-2

Tabla 108 Composición química de la cascarilla de arroz. Fuente: Revista de la sociedad brasileña de ciencias mecánicas e ingeniería¹⁸¹

Tiene gran cantidad de poros en su interior, los cuales representan un 54% de su volumen, lo que le confiere gran capacidad termoaislante. Presenta propiedades ignífugas, es decir que no inicia la combustión fácilmente, hecho que responde a la composición química de la cascarilla de arroz en la que predomina el dióxido de Silicio (SiO_2) conformando el esqueleto de la cascarilla. Esto se puede verificar al analizar la ceniza de cascarilla. El análisis químico es el siguiente:

¹⁸⁰ Cascarilla de arroz. En: 123rf [en línea] [Consulta: 25 de mayo de 2016] Disponible en: http://es.123rf.com/photo_25315951_la-cascarilla-de-arroz.html

¹⁸¹ M.D., Jaime Gutiérrez, et al. Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces cerevisiae*. *Revista de la sociedad brasileña de ciencias mecánicas e ingeniería*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 2014, vol.81, no.184. ISSN 0012-7353

Otros aislantes
Cascarilla de arroz

Compuesto	% en peso
SiO ₂	90-97
K ₂ O	0,6-2,5
Na ₂ O	0,6-1,8
CaO	0,1-1,9
MgO	0,2-1,5
Fe ₂ O ₃	0,3
P ₂ O ₅	0,1-1,1
SO ₂	0,1-1,1
Cl	0,1-0,4

Tabla 109 Composición química de la ceniza de la cascarilla de arroz. Fuente: Revista de la sociedad brasileña de ciencias mecánicas e ingeniería

La literatura sobre distintas aplicaciones de la cáscara de arroz en construcción data de más de un siglo tratando sobre propiedades y empleos de este material. Un ejemplo lo encontramos en el proyecto de investigación *“Materiales, tecnologías y prototipos de viviendas de muy bajo coste”* realizado en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, a través de cual se analizó la fabricación de un material de construcción para su empleo como aislante térmico, a base de cemento y cáscara de arroz con cal. La propuesta es la presentación del proceso de producción de elementos ligeros a base de un subproducto agrícola (cáscara de arroz) y otro industrial (ceniza volante)¹⁸².

Otro de los ensayos consiste en aglomerar cascarilla de arroz usando almidones con el fin de obtener un material con estabilidad física adecuada, sin afectar su capacidad aislante. Para esto, se desarrolló un proceso que integró *Saccharomyces Cerevisiae* (levadura de cerveza) como elemento productor de porosidades en el material. Posteriormente se sometieron las probetas a pruebas de resistencia al calor y flexión para evaluar su conductividad térmica. De esta forma, se encontró que el aglomerado al ser sometido a fuego directo no produce llama (ignífugo), presenta alta resistencia a la degradación por temperatura, soportando hasta 175°C presentándose solamente cambio de color. Y al ser sometido a temperaturas superiores a 175°C se carboniza sin presentar llama; tiene una resistencia a la rotura entre 80 y 120 kPa al ser sometido a temperaturas entre 150 y 200 °C. El aglomerado se dejó a la intemperie (temperatura entre 30°C y $\pm 5^\circ\text{C}$, humedad relativa: $80\% \pm 15\%$), donde su estabilidad química se aprecia al no ser atacado por hongos, y su biodegradabilidad se

¹⁸² VALERO, Pilar. Aislado bien nuestra casa. *Revista ReHabitat*. Madrid, 2003, nº6. ISSN 1579-3281

Otros aislantes Cascarilla de arroz

manifiesta al ser disuelto por agua. Finalmente, con respecto a la conductividad térmica del aglomerado se encuentra entre valores de entre 0,090-0,1510 W/mK.

Con estas recomendaciones, se exploraron maneras de generar una matriz para la aglomeración de la cascarilla, que brindara mayor estabilidad física, sin perder capacidad termoaislante, y adicionalmente, buscar un método para generar porosidades en este aglomerado, manteniendo el carácter ecológico, y de bajo costo del material y su proceso de producción. Se diseñó un proceso en el que se somete una mezcla de almidones naturales (almidones a base de harina de trigo) y cascarilla de arroz, a la acción de una cepa de la levadura, *Saccharomyces Cerevisiae* (ilustración 92¹⁸³), para aprovechar su capacidad metabólica productora de gas, con el fin de generar múltiples y diminutas burbujas (porosidades) dentro del material, que luego se lleva a secado para lograr estabilidad física. En la imagen derecha se muestra la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*. En el proceso que se desarrolla, los hongos descomponen la materia orgánica para obtener energía, y en este proceso, las levaduras especialmente, producen gas.¹⁸³

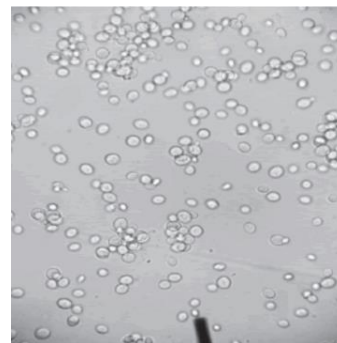


Ilustración 92 *Saccharomyces Cerevisiae*. Fuente: Revista de la sociedad brasileña de ciencias mecánicas e ingeniería



Ilustración 93 Probeta de aislante de cascarilla de arroz. Fuente: Revista de la sociedad brasileña de ciencias mecánicas e ingeniería¹⁸³

Debemos tener en cuenta que con los valores obtenidos de conductividad térmica (0,090-0,1510 W/mK) no podemos considerar este material como un aislante, ya que el CTE considera aislante térmico aquel material que tiene una conductividad térmica menor que 0,060 W/mK. Aunque se encontraron valores de conductividad térmica de 0,036 W/mK en otras fuentes bibliográficas¹⁸⁴; sería adecuado realizar los ensayos pertinentes según la legislación española, ya que

¹⁸³ M.D., Jaime Gutiérrez, et al. Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces cerevidiae*. *Revista de la sociedad brasileña de ciencias mecánicas e ingeniería*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 2014, vol.81, no.184. ISSN 0012-7353

¹⁸⁴ CHÁVEZ HERNÁNDEZ, Pedro Eduardo et al. *Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de aislantes térmicos fabricados con polvo de la estopa de coco* [trabajo fin de grado en línea]. Leyla Marina JIMÉNZ

Otros aislantes
Cascarilla de arroz

estos valores se han obtenido según la norma ASTM C-177: Método de prueba estándar para la determinación del flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica por medio del aparato vigilado placa caliente por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

3.29.3 Diatomita

Los griegos fueron de los primeros en encontrar una aplicación práctica a la tierra de diatomeas, con la que fabricaban ladrillos de poco peso destinados a la construcción. En el año 535 d.C. se usaron bloques de diatomita para levantar la cúpula de la basílica de Santa Sofía, en la actual ciudad de Estambul (Turquía). A partir de 1800, bloques y ladrillos de diatomita empezaron a usarse como material aislante de altas temperaturas. Pero quizá la aplicación más conocida de la tierra de diatomeas sea como componente de la dinamita. En 1867 Alfred Nobel inventó la dinamita al mezclar nitroglicerina líquida, un explosivo muy inestable, con tierra de diatomeas, que actuaba como absorbente y estabilizador, lo que permitía transportarla con facilidad.

La diatomita o tierra de diatomeas -también conocida como DE, TSS, diahydro, kieselguhr- es una roca sílica, sedimentaria de origen biogénico, compuesta por esqueletos fosilizados de las frústulas de las diatomeas. La tierra de diatomeas es un material inerte no tóxico, pertenece al grupo de las sílices amorfas, formada por acumulación sedimentaria de los esqueletos microscópicos de algas unicelulares y acuáticas (ilustración 94¹⁸⁵) en los fondos marinos, fosilificadas por el paso de millones de años. Cuando las algas mueren, todo el contenido orgánico se destruye, con excepción de su esqueleto de sílice, el cual va a depositarse al fondo de las aguas, para formar, al cabo de los siglos, grandes depósitos de algas fosilizadas. En la siguiente tabla se puede ver su composición química:



Ilustración 94 [Vista microscópica de la diatomita]. Fuente: Awareness's blog

¹⁸⁵ [Vista microscópica de la diatomita]. En: Awareness's blog [web] [s.l.]: David Huerta [Consulta: 4 junio 2016] Disponible en: <http://davidhuerta.typepad.com/.a/6a01347ff0d110970c0134880ee20a970c-800wi> en <http://davidhuerta.typepad.com/blog/2010/10/diatomita-que-es-y-cuales-son-sus-principales-usos.html>

Otros aislantes
Diatomita

COMPONENTES	%
SiO ₂	96,40
Al ₂ O ₃	0,40
Fe ₂ O ₃	0,21
CaO	0,26
K ₂ O	0,07
TiO ₂	0,02
MgO	0,09
Na ₂ O	0,07
Trazos	2,50

Tabla 110 Composición química de la tierra de diatomeas. Fuente: Ecodonana¹⁸⁶

Las algas diatomeas pertenecen a la familia *Bacillariophyceae*, incluida en la división *Heterokontophyta*, y hasta la fecha se han descrito unas 100.000 especies, tanto fósiles como vivientes. Son organismos microscópicos y unicelulares que poseen una cubierta formada por sílice (SiO₂) llamada “frústulo”. El frústulo está constituido por dos partes que encajan como una placa de Petri: la “epiteca”, que es la superior y actúa como tapa, y la “hipoteca” que es la inferior.

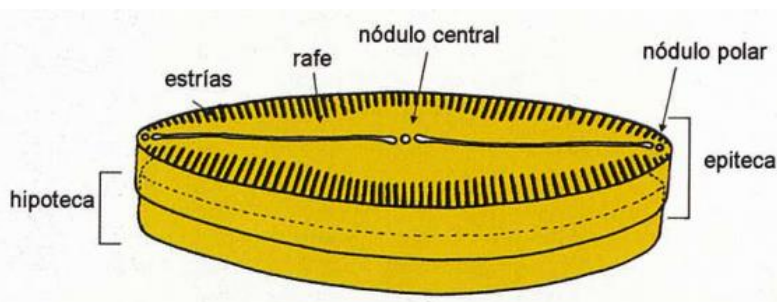


Ilustración 95 Partes de las diatomeas. Fuente: Universidad de Alcalá¹⁸⁷

Las diatomeas pueden presentarse individualmente o en forma de agregados laxos denominados “cenobios”. Morfológicamente, las diatomeas se dividen en dos tipos según su simetría: las “pennadas” son simetría lineal y las “céntricas” con simetría central.

Las diatomeas pueden encontrarse en muchos medios acuáticos, ya sean de agua dulce o salada. Aparecen flotando libremente como componentes del fitoplancton y también sobre superficies húmedas e incluso sobre otras algas. También están presentes en el barro, el hielo y hasta en algunas vísceras (hígado y riñón) del organismo humano.

¹⁸⁶ Composición química de la tierra de diatomeas. En: Ecodonana [web] Huelva: Ecodonana, 2015 [Consulta: 4 junio 2016] Disponible en: <http://docplayer.es/2768407-Tierra-de-diatomeas-ecodonana.html>

¹⁸⁷ Partes de las diatomeas. En: Universidad de Alcalá, página 2 [web] Madrid: Universidad de Alcalá [Consulta: 4 junio 2016] Disponible en: <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/7994/Diatomeas2.pdf?sequence=1>

Otros aislantes

Diatomita

Las diatomeas son responsables del 25% del carbono inorgánico que se fija cada año en el océano y una gran población de estas algas vive en las aguas heladas que rodean la Antártida. Fijan el dióxido de carbono (CO_2) por fotosíntesis, quizá en mayor cantidad que los bosques tropicales¹⁸⁸. Junto a otros destacados componentes del fitoplancton, como haptófitos y criptófitos, las diatomeas forman parte de la dieta principal del Krill, pequeños crustáceos que viven en las aguas antárticas. Las diferentes especies de Krill son organismos clave en la cadena trófica, pues constituyen la fuente de alimentación de peces, ballenas y aves, de ahí la importancia de las diatomeas en el ecosistema marino.

Es importante conocer la materia prima y su composición, ya que se desaconseja emplear tierra de diatomeas contaminada por arsénico y plomo.

Este material tiene diversos usos como fertilizante, insecticida, complemento alimenticio animal, aislamiento térmico, etc.

En Lompoc, California, se explotan extensos depósitos de tierra de diatomeas, llamados diatomitas.



Ilustración 96 Yacimiento de diatomita. Fuente: Awareness's blog¹⁸⁹

En general el proceso de producción de la diatomita es el siguiente:

- **Extracción:** generalmente la diatomita es minada a cielo abierto. La diatomita en bruto es transportada al molino o al almacén, comúnmente contiene 40% de humedad, en algunos casos rebasa al 60%.
- **Trituración primaria:** se realiza a través de molinos de martillo para conservar la estructura de la diatomea. Este proceso es para desagregar el material y remover materiales diferentes a la diatomita.

¹⁸⁸ Usos industriales de las algas diatomeas [en línea] Madrid: Universidad de Alcalá, 2008 [Consulta 4 julio 2016] Disponible en:

<http://dSPACE.uah.es/dSPACE/bitstream/handle/10017/7994/Diatomeas2.pdf?sequence=1>

¹⁸⁹ Yacimiento de diatomita. En: Awareness's blog [web] [s.l.]: David Huerta [Consulta: 4 junio 2016] Disponible en: <http://davidhuerta.typepad.com/.a/6a01347ff0d110970c0133f4ef2dbe970b-800wi> en <http://davidhuerta.typepad.com/blog/2010/10/diatomita-que-es-y-cuales-son-sus-principales-usos.html>

Otros aislantes

Diatomita

- **Molienda y secado:** en esta etapa se reduce el tamaño de las partículas. En este proceso la molienda y el secado se realizan simultáneamente y las partículas suspendidas de diatomita son transportadas en una corriente de gases calientes. Éstos operan en un rango de temperaturas de entre 70°C a 430°C para reducir la humedad hasta 15% aproximadamente.
- **Clasificación:** las partículas suspendidas que salen del secador pasan a través de una serie de ventiladores, ciclones y separadores que separan el polvo en varios tamaños, eliminan impurezas y rechazan el agua absorbida.
- **Transporte**

La diatomita utilizada como materia prima para la manufactura de elementos de estructuras aislantes incluye ladrillos, bloques y cementos. La diatomita aislante y ladrillos refractarios se utilizan en la construcción de hornos, calentadores y otros equipos de tratamiento térmico.

Las propiedades de la sílice de diatomeas y la gran porosidad de la frústula de las diatomeas hacen a este mineral un excelente aislante térmico (ilustración 97¹⁹⁰) en un rango de temperaturas que van desde el frío hasta el punto de fusión de la sílice amorfa, en torno a los 1.200°C.

La producción mundial de diatomita se estimó en 2,06 millones de toneladas en 2011, 11,9% superior en relación a 2010. Los principales productores: Estados Unidos (39,5%) principal productor y consumidor mundial de diatomita, China (21,3%), Dinamarca (11%), Japón (4,8%), y México 4,4%.



Ilustración 97 Losas de diatomea. Fuente: armisum

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Diatomita	Cekesa, Cia española de Kieselghur, S.L.	España	Albacete	Carretera del Cenajo, km. 7 – 02400 Hellín – Tel.: 967 410 287 – email: info@cekesa.es
	World Minerals	EEUU	California	San Jose
	EP Minerals, LLC.	EEUU	Nevada	9785 Gateway Drive, Reno 89521

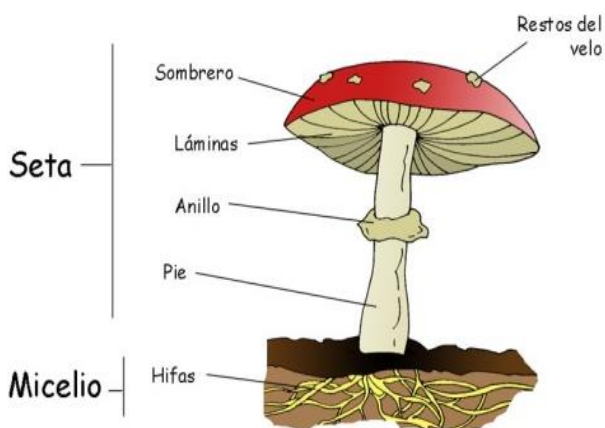
Tabla 111 Empresas extractoras de diatomita

¹⁹⁰ Losas de diatomea [en línea] Murcia: Armisum [Consulta: 4 junio 2016] Disponible en: <http://www.armisum.com/ficha.asp?id=6262>

3.29.4 Paneles aislantes de micelio

3.29.4.1 Naturaleza, composición

Los hongos tienen dos partes (ilustración 98¹⁹¹), la vegetativa denominada micelio y la reproductora o seta; aunque se pueden dar casos en los que sólo existe el micelio y no la seta. Como los hongos no realizan la fotosíntesis, tienen que asociarse con otros seres vivos para poder alimentarse, lo que obliga a estos organismos a obtener su



alimento a través de una de las tres vías siguientes:

Ilustración 98 Partes de un hongo. Fuente: cajon de ciencias

- ❖ Saprofitismo, utilización de materia orgánica muerta como alimento. Los hongos participan junto con bacterias y animales del suelo en la degradación de los restos orgánicos descomponiéndolos en formas simples.
- ❖ Parasitismo, obtención del alimento de un hospedador que es otro ser vivo, en este caso causándole enfermedades y pudiendo llegar a matarlo.
- ❖ Simbiosis, relación trófica entre dos organismos que no causa lesión aparente a ninguno de ellos. En este grupo hay dos subgrupos:
 - Micorrícicos: para desarrollar su ciclo vital necesitan establecer relaciones simbióticas con las raíces de las plantas. Esta relación se establece mediante la formación de unas estructuras que permiten el intercambio de nutrientes, y que reciben el nombre de micorrizas. Así pues podemos definir a las micorrizas como asociaciones simbióticas entre las raíces de las plantas y el micelio de un hongo. Este sería el caso que vamos a estudiar en este apartado.
 - Lichenizados, relación entre una alga y un hongo.

Su función es absorber del organismo con el que se asocia los distintos compuestos orgánicos necesarios para alimentarse.

¹⁹¹ Partes de un hongo [en línea] Cajón de Ciencias [Consulta: 14 marzo 2016] Disponible en: <http://www.cajondeciencias.com/Descargas%20biologia/Hongo.jpg> en <http://www.cajondeciencias.com/biobotanica.html>

3.29.4.2 Proceso de fabricación

El micelio está formado por un conjunto de filamentos blancos, hifas (elementos filamentosos cilíndricos característicos de la mayoría de los hongos que conforman su estructura vegetativa). El micelio va creciendo en forma circular y va produciendo setas en su parte aérea para su reproducción mediante esporas. El grupo de hongos que se emplea para la obtención de micelio para la elaboración de paneles aislantes está dentro de la clase basidiomicetos que incluyen los hongos con sombrero. Éstos en su parte aérea, debajo del sombrero, tienen unas laminillas donde se sitúan las esporas.

Hay cuatro métodos para la obtención de micelio:

1. Crearlo a partir de esporas (lento y probetas fáciles de contaminar)
2. Con un trozo de pie de seta, hifas ya formadas (fácil de contaminar)
3. Comprando micelio en grano e inoculando en sustrato estéril.
4. A través de alpaca de *Pleurotus ostreatus* y colonizar con sustrato estéril. Consiste en agregar a determinados desechos agrícolas, como paja, virutas de madera, hojas, cáscara de arroz o cáñamo, un concentrado de células extraídas de las raíces de los hongos, micelio, (las especies más empleadas son *Pleurotus ostreatus*, *Lentinula edodes* y *Ganoderma lucidum*). Estas células segregan unas enzimas que ayudan a descomponer la materia de los residuos agrícolas creando una consistente red de filamentos microscópicos de múltiples cualidades.



Ilustración 99 Panel aislante de micelio. Fuente: la ciudad viva¹⁹²

¹⁹² MAYORAL, Eduardo, 2011. Panel aislante de micelio [en línea] La Ciudad Viva (LCV). Andalucía [Consulta: 14 marzo 2016] Disponible en: <http://www.laciudadviva.org/blogs/wp-content/uploads/2012/11/02.jpg> en <http://www.laciudadviva.org/blogs/?p=15498>

Otros aislantes

Paneles aislantes de micelio

El micelio crece en el interior de un molde, sin necesidad de entradas de luz, riego ni petroquímica, se sabe que crecen de forma óptima en condiciones cercanas a los 15-20° C de temperatura y al 80-90% de humedad. Al final del proceso atraviesan un proceso de deshidratación y un tratamiento térmico para detener el crecimiento.

Al someter a altas temperaturas los filamentos, se obtiene un material adhesivo y compacto con el que crear el nuevo polímero. Al final atraviesan un proceso de deshidratación y un tratamiento térmico para detener el crecimiento.



Ilustración 100 Panel Estructural Aislante (PEA)¹⁹³

3.29.4.3 Impacto medioambiental

Durante su fabricación no emite CO₂ a la atmósfera, únicamente el considerado en el cultivo de plantas, de las que se obtienen los desechos agrícolas (cáñamo, paja, virutas de madera); aunque si la materia orgánica son hojas, por ejemplo, no habría ningún tipo de emisión. Por lo que requiere un menor uso de energías y permite el reciclado de desechos agrícolas.

3.29.4.4 Valorización

Debido a su composición natural, es reciclable y biodegradable, por lo que cuando ya no es de utilidad, simplemente se descompone sirviendo de abono para las plantas sin generar residuos.

¹⁹³ Panel Estructural Aislante (PEA). En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2013] [consulta: 14 de marzo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/wp-content/uploads/2012/04/aislamiento1.jpg> en <http://www.mimbrea.com/hongos-y-desechos-agricolas-en-la-construccion-ecovative-design/>

3.29.4.5 Propiedades

Este material reciclado es resistente a la humedad y puede aguantar hasta 800°C sin sufrir ningún cambio. Además no hay reacciones alérgicas asociadas a su uso, pudiéndose manipular sin ningún tipo de equipo de seguridad especial.

3.29.4.6 Fabricantes

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Micelio	Ecoactive	EEUU	New York	Green Island

Tabla 112 Fabricantes de aislante de micelio

3.29.5 Plumas de aves

La capacidad aislante de las plumas de aves es conocida y éstas son utilizadas desde hace mucho tiempo en los sectores de prendas de vestir o ropa de cama. Aunque es un aislamiento poco conocido en nuestro país.

Los fabricantes, en Francia por ejemplo, utilizan sobre todo las plumas del pato que proporcionan un excelente aislamiento térmico tanto en verano como en invierno. La pluma de pato no está hecha para permanecer visible; es sensible a la luz, por lo que debe cubrirse con un revestimiento y preferiblemente colocado en lugares remotos a fuentes de calor demasiado intenso. La materia prima, en este caso, se obtiene de mataderos.



Ilustración 101 Somateria mollissima borealis. Fuente: Wikipedia

Por otro lado, en Islandia también emplean plumas como aislamiento, en este caso de un ave llamado Eider. Esta especie en concreto se llama somateria mollissima borealis (ilustración 101¹⁹⁴) y es un género de aves anseriformes de la familia Anatidae. Ampliamente distribuida por las regiones costeras árticas y subárticas.

Las hembras de eider construyen su nido cerca del mar y los recubren con un fino plumón que se arrancan de su pecho y vientre. Este plumón se ha recolectado tradicionalmente (ilustración 101) para rellenar almohadas y edredones, además de emplearlo como aislamiento térmico.



Ilustración 102 Nido de Somateria mollissima borealis. Fuente: Wikipedia¹⁹⁵

¹⁹⁴ Hembras de eider. En: Wikipedia, la enciclopedia libre [en línea] actualización 16 marzo 2015 [consulta: 13 junio 2016]. Disponible en: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a0/Common-eider-3.jpg/1024px-Common-eider-3.jpg>

¹⁹⁵ Los nidos de eider están forrados de suave plumón. En: Wikipedia, la enciclopedia libre [en línea] actualización 16 marzo 2015 [consulta: 13 junio 2016]. Disponible en: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/39/Eider_nest.jpg/800px-Eider_nest.jpg

Otros aislantes
Plumas de ave

El aislamiento de plumas de aves está compuesto de un 70% de plumas, 10% de lana higienizada y un 20% de fibras textiles de poliéster termofusibles empleadas como ligantes asegurando la consistencia y densidad del conjunto. Para evitar todo tipo de alergias relacionadas con los ácaros del polvo o impurezas las plumas se lavan y se esterilizan a 150°C. Se lavan en agua, que contiene un agente de desengrasante, y se secan por centrifugación.

El aislamiento de pluma de pato está disponible en rollos o paneles.

MATERIAL	FABRICANTE	PAÍS	CIUDAD	LOCALIZACIÓN
Plumas de ave	ISOA Aislamiento	Francia	Boulazac	

Tabla 113 Fabricantes de aislamiento de plumas de ave. Fuente: propia

3.29.6 Posidonia oceánica (planta acuática)

3.29.6.1 Naturaleza y composición

Actualmente, se están llevando a cabo estudios con un tipo de planta acuática llamada *Posidonia oceánica*. Es endémica del Mediterráneo, perteneciente a la familia Posidoniaceae. Tiene características similares a las plantas terrestres, como raíces, tallo rizomatoso y hojas cintiformes de hasta un metro de largo dispuestas en matas de 6 a 7. Se caracteriza por su longevidad milenaria y por formar extensas praderas. Entre los beneficios para el ecosistema de la especie, destaca su función como organismo bioindicador del buen estado de los ecosistemas marinos, es decir, su presencia nos indica que nos encontramos en una zona con aguas marinas en perfecto estado de conservación, el enterramiento de dióxido de carbono, el reciclado de nutrientes y la protección costera de la erosión.



Ilustración 103 Distribución de la Posidonia oceánica. Fuente: Wikipedia¹⁹⁶

Las praderas de posidonia pierden gran cantidad de hojas entre septiembre y diciembre, a la manera de los árboles de hoja caduca, restos que se acumulan en la orilla de las playas del Mediterráneo. Aunque el material natural de estas bolas de Neptuno es considerado como un producto de desecho y por lo general termina en vertederos, este material fácilmente abundante y renovable es demasiado valioso para ser desechado. Se muestra una variedad de características que la hacen de interés para el sector de la construcción: las hojas de esta planta marina son prácticamente no inflamables, resistentes al moho, y se pueden utilizar como material aislante sin la necesidad de aditivos químicos. Puede ser utilizado como aislamiento entre las vigas de tejados inclinados, para aislar las paredes interiores, o para reducir la cantidad de calor que se pierde a

¹⁹⁶ Distribución de la Posidonia oceánica. En: Wikipedia, la enciclopedia libre [en línea] actualización 28 marzo 2016 [consulta: 10 abril 2016]. Disponible en: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/47/Posidonia_oceanica_range.PNG/230px-Posidonia_oceanica_range.PNG en https://es.wikipedia.org/wiki/Posidonia_oceanica

través de los cerramientos. Las fibras actúan como un amortiguador, absorbiendo vapor de agua y soltándolo de nuevo sin menoscabo de su propia capacidad de mantener el edificio aislado. Y con un contenido de sal de apenas 0,5 a 2 por ciento, las bolas de Neptuno se pueden utilizar para producir material de aislamiento que no se pudra.

El Instituto Fraunhofer de Física de la Construcción (IBP) en Holzkirchen (Alemania) descubrió que el material aislante desmadejado obtenido es capaz de almacenar una cantidad de energía considerable -2.502 julios por kilogramo kelvin (J/kgK)-, un 20% más que la madera o los productos derivados de ésta. Esta característica le permite mantener frescos los edificios durante periodos calurosos al protegerlos contra el calor durante las horas de luz.

3.29.6.2 Proceso de fabricación

La utilización de la posidonia en obras de edificación se realizará con las máximas precauciones para no alterar el ecosistema del que provienen. La extracción se realizará siempre de forma controlada por los organismos públicos competentes, cumpliendo los protocolos y legislación vigente, y nunca por parte de particulares o empresas privadas.

El proceso para convertir estas plantas en un material de construcción no resulta sencillo debido a que antes es necesario eliminar la arena que las impregna. Agitar las bolas de Posidonia es la manera ideal de lograr fibras de la mayor longitud posible sin arena. Tras limpiarlas llegan a la trituradora a través de una cinta transportadora que deposita las algas en fibras de entre 1,5 y 2 centímetros.

Existe un proyecto denominado Life Reusing Posidonia que recibió ayuda europea, del programa LIFE+2012, para llevar a cabo la construcción y monitorización del proyecto de 14 viviendas de protección pública en Sant Ferran, Formentera. Constituye un prototipo para reducir la vulnerabilidad de los entornos humanos al cambio climático, estableciendo medidas para reducir la producción de CO₂ en un 50%. Destaca, entre otras soluciones constructivas, el uso de la Posidonia Oceánica seca como aislamiento térmico y acústico, promoviendo así la utilización de la posidonia con fines prácticos, siempre y cuando se haga un uso adecuado de la misma.

El proceso de instalación del aislamiento de Posidonia se realizó de la siguiente forma:

1. La posidonia no requiere tratamiento artificial alguno, ya que la sal del mar actúa como conservante y biocida.
2. Se secará la posidonia durante los meses de mayor actividad solar. El proceso incluye el extendido del material por capas finas de espesor comprendido entre 5 y 10mm, expuestas al sol durante un día completo, y una vez secado, se almacena en un lugar seco, protegido de la lluvia y la humedad hasta que se vaya a utilizar.

Otros aislantes
Posidonia oceánica

3. Para iniciar el proceso de colocación, en este caso se instaló en las cubiertas, debe estar terminado el forjado superior de las mismas, incluida la colocación de los palets de obra reutilizados en posición invertida boca arriba para recibir la posidonia. Estos palets se colocan sobre el hormigón aligerado de formación de pendientes el cual dispone de una lámina impermeable de polietileno situada en su cara inferior.



Ilustración 104 Colocación de palets. Fuente: Life reusing posidonia¹⁹⁷

4. La posidonia se subirá a la cubierta de los edificios y se distribuirá en la cubierta. Se compactará en el interior de los palets de obra reutilizados con medios manuales.
5. Durante la ejecución de la cubierta, al finalizar la jornada laboral, la zona compactada se tapará con plásticos, para prevenir la problemática de rocío, viento y las lluvias.
6. Una vez terminada la compactación y el secado, se colocarán tableros de madera OSB-III. Los tableros se clavarán a los largueros de los palets mediante pernos galvanizados. Sobre la superficie horizontal de los tableros, se colocará una capa geotextil, para proteger la lámina impermeable de EPDM, fijada exclusivamente en los laterales, y encolada a la primera lámina impermeable de polietileno (bajo el hormigón de pendientes). La unión de la lámina de polietileno inferior y la de EPDM superior, garantizan la estanqueidad de la cámara, conservando constantes tanto las condiciones de humedad de la posidonia seca, como las de aislamiento. Por tanto, el buen funcionamiento del sistema depende del perfecto sellado entre láminas.

¹⁹⁷ Colocación de palets [en línea] Life reusing posidonia. Formentera, 2014 [Consulta: 10 abril 2016] Disponible en: http://reusingposidonia.com/dy37jf22/wp-content/uploads/2014/01/10_016_02_22.jpg en <http://reusingposidonia.com/construccion-del-prototipo/>

3.29.6.3 Impacto medioambiental

En primer lugar, debemos tener en cuenta antecedentes como lo que explica un estudio realizado por investigadores del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) que revela que la densidad de plantas de la especie marina Posidonia oceánica podría disminuir un 90% a mediados de este siglo debido al calentamiento del agua superficial del mar Mediterráneo. Diferentes estudios españoles y europeos proyectan un rápido calentamiento del agua superficial del mar balear en verano a lo largo del siglo XXI, lo que daría lugar a un aumento de la frecuencia e intensidad de las olas de calor provocando la aceleración de la mortalidad de Posidonia. Por tanto tenemos que conocer el estado de la materia prima en la naturaleza antes de su explotación para evitar agravar más posibles circunstancias adversas.

Por otro lado, su uso debe limitarse exclusivamente a las zonas en las que el volumen acumulado en la arena de las playas exceda la cantidad necesaria para mantener el equilibrio del ecosistema dunar costero, hablando del uso de la Poseidonia oceánica. La extracción se realizará siempre por parte de los organismos estatales o autonómicos que gestionan este patrimonio.

Y finalmente, podríamos decir que tiene un impacto nulo, teniendo en cuenta lo que se ha explicado. De esta forma se podrá recuperar un uso tradicional de este material en la construcción (típico en las Islas Baleares) como se puede ver en la imagen.

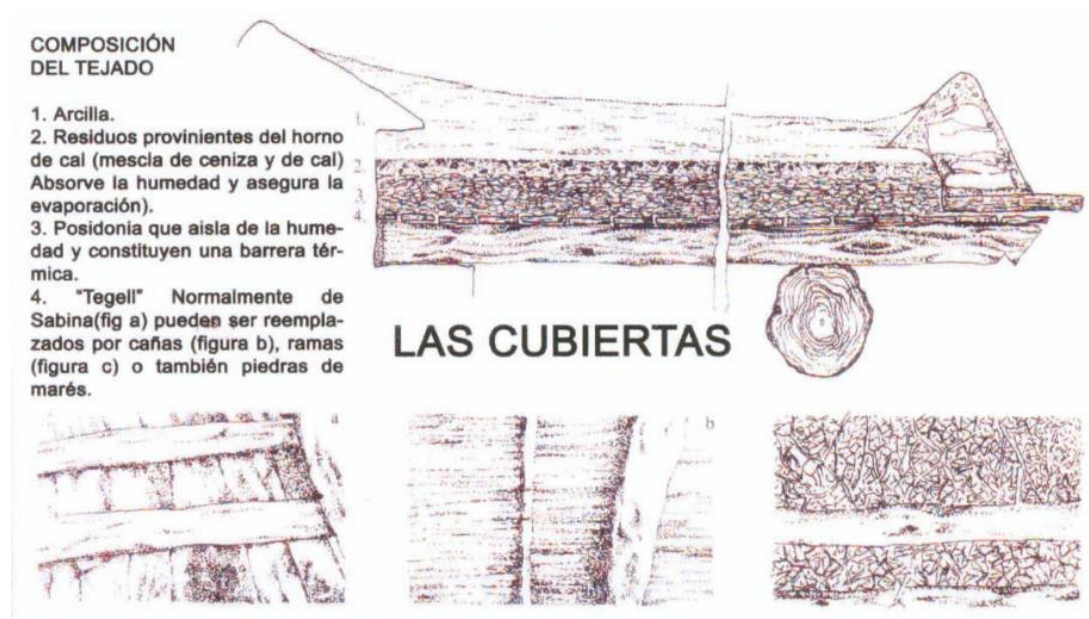


Ilustración 105 Composición tradicional de las cubiertas de Formentera. Fuente: Life reusing posidonia

Se produciría impacto medioambiental si empleamos este material en zonas donde no es autóctono; ya que necesitaríamos de transporte y, en algunos lugares, incluso de hornos para su secado con la consiguiente emisión de CO₂ a la atmósfera y consumo energético.

3.29.6.4 Valorización

Una vez que la vida útil del edificio o vivienda donde se halle el material aislante finalice, este se puede usar en los composts. Éstos presentan valores interesantes de materia orgánica y de humificación, sin fitotoxicidad ni contenido en metales pesados. El único inconveniente es el alto contenido salino, pero para reducir esta desventaja, el sistema de compostaje debe favorecer el lixiviado mediante lavados continuados y así evitar acumulación de sales.

3.29.6.5 Propiedades

Al estar en estudio no se han encontrado estos datos.

3.29.6.6 Fabricantes

PRODUCTO	EMPRESA	PAÍS	LOCALIZACIÓN
Planta acuática Posidonia oceánica	Neptutherm	Alemania	Im Speitel 56 76229 Karlsruhe Telefon 0721.9463349

Tabla 114 Fabricantes de aislamiento de posidonia oceánica. Fuente: propia

Otros aislantes
Mazorcas de maíz

Corteza de pino, de avellanas, almendras y nueces

3.29.7 Mazorcas de maíz

Normalmente se realizaba una mezcla de mazorcas de maíz y morteros, concediéndoles ligereza y poder aislante. Cuando se empleaba mortero de cal, una de las razones era evitar el ataque de insectos o parásitos.

3.29.8 Corteza de pino, de avellanas, almendras y nueces

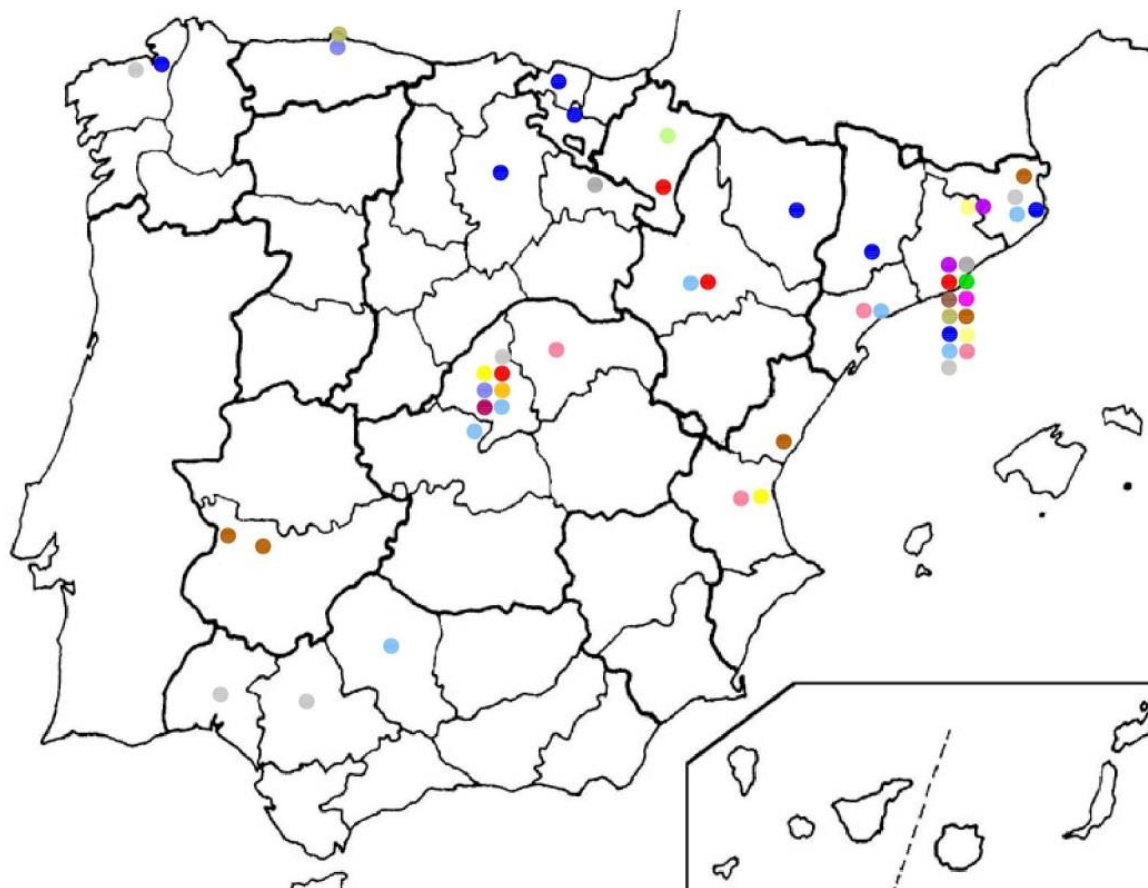
Para el empleo de la corteza de pino en construcción, se debe someter a un tratamiento previo a base de sales de bórax.

La corteza de avellanas, de almendras y de nueces puede emplearse en el relleno de cámaras en muros y cubiertas. Para ello, es necesario realizar un tratamiento previo de pentaborato consistente en mezclar ácido bórico y bórax en proporción de 1:1 disuelto en 100 litros de agua.¹⁹⁸

¹⁹⁸ Información extraída de:

VALERO, Pilar. Aislando bien nuestra casa. *Revista ReHabitat*. Madrid, 2003, nº6. ISSN 1579-3281

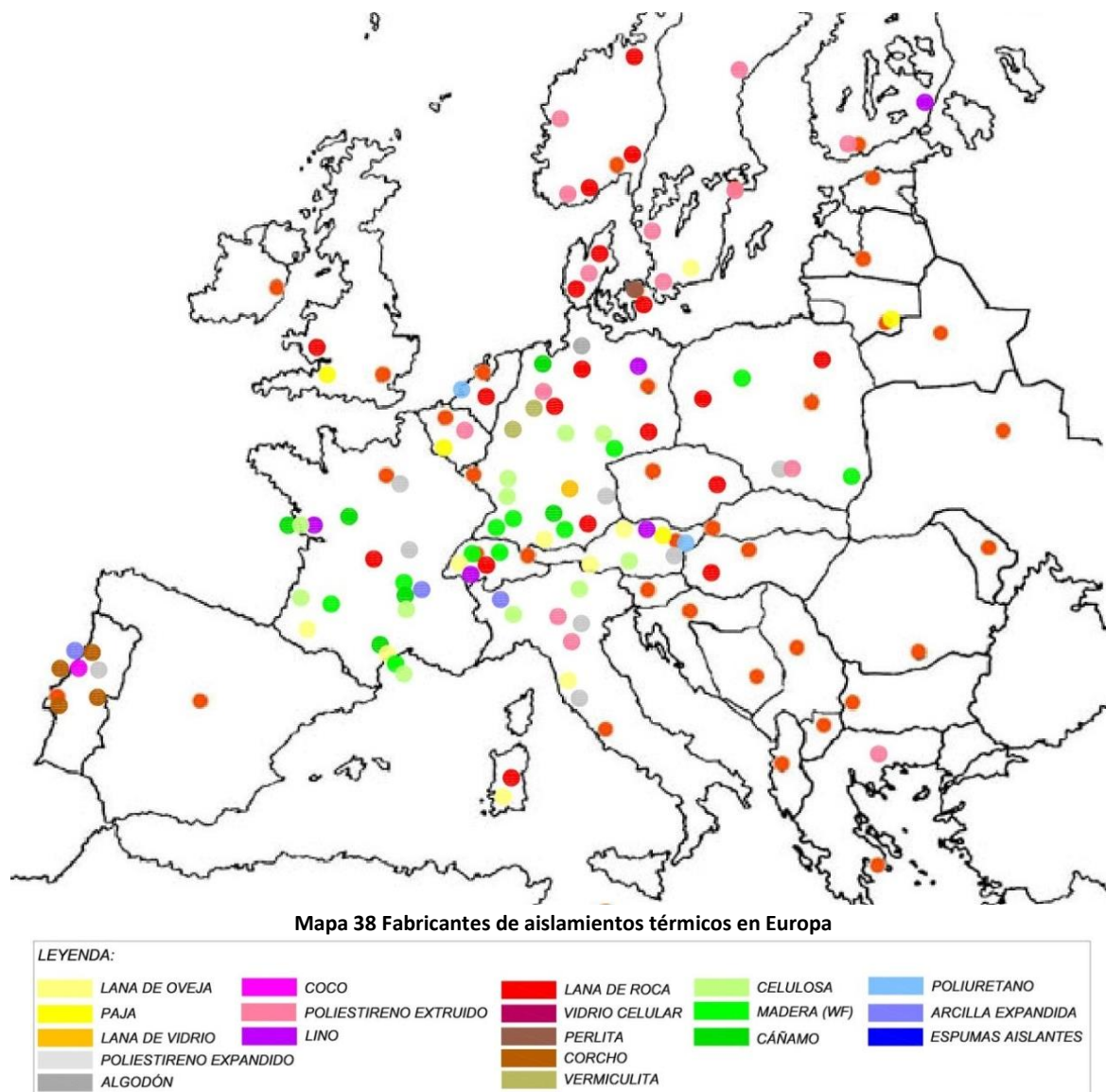
4. Evaluación



Mapa 37 Fabricantes de aislamientos térmicos en España

LEYENDA:

LANA DE OVEJA	COCO	LANA DE ROCA	CELULOSA	POLIURETANO
PAJA	POLIESTIRENO EXTRUIDO	VIDRIO CELULAR	MADERA (WF)	ARCILLA EXPANDIDA
LANA DE VIDRIO	LINO	PERLITA	CÁÑAMO	ESPUMAS AISLANTES
POLIESTIRENO EXPANDIDO		CORCHO		
ALGODÓN		VERMICULITA		



En los mapas anteriores se reflejan los fabricantes de aislantes térmicos en España y Europa que se han localizado durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Debemos tener en cuenta a la hora de trabajar con las empresas el factor medio ambiental en la medida de lo posible. Es decir, si por ejemplo tenemos una obra en A Coruña, intentaremos traer materiales que se hayan fabricado lo mas cerca posible de nuestro centro de trabajo.

Un aislamiento de lana de oveja que se fabrica en Barcelona tendrá un coste energético y emisiones de CO₂ mayores a otro que sea fabricado en nuestra Comunidad Autónoma.

Por lo que lo más adecuado sería procurar disminuir las distancias de transporte y obtener las materias primas de zonas proximas a los centros de fabricación. Además de la reagrupación de los procesos industriales hoy descentralizados en localizaciones cercanas a la planta principal y a la distribución.

En las siguientes tablas de datos se expresan los valores mínimos, medios y máximos de la conductividad térmica y la densidad proporcionados por los fabricantes de los materiales aislantes térmicos que serán objeto de análisis.

MATERIALES		Vmin.	Vmed.	Vmáx.
Vermiculita	0,5 – 2mm	0,040	0,043	0,045
	0,5 – 3mm	0,052	0,056	0,060
	1 – 4mm	0,052	0,056	0,060
	2 – 6mm	0,052	0,056	0,060
Perlita	0 – 1,5mm	0,045		
	3 – 5mm	0,035		
V.C.		0,038	0,048	0,058
PUR		0,022	0,031	0,040
XPS		0,031	0,035	0,038
EPS		0,031	0,039	0,046
Lana de roca	P. rígido	0,034	0,038	0,041
	P. semi-rígido	0,032	0,034	0,036
	Rollo	0,037	0,039	0,040
	Granel	0,034	0,040	0,045
Lana de vidrio	P. semi-rígido	0,037	0,038	0,039
	P. flexible	0,038	0,040	0,042
	Rollo	0,036	0,038	0,040
Paja		0,050	0,059	0,067
Madera WF	P. rígido	0,042	0,056	0,070
	P. flexible	0,035	0,039	0,042
	Granel	0,038	0,039	0,039
Lino		0,037	0,039	0,040
Lana de oveja	Mantos	0,037	0,040	0,043
	Placas	0,035		
	Granel	0,041	0,044	0,046
Corcho	Blanco	0,045	0,047	0,049
	Negro	0,037	0,043	0,048
	Granel	0,040	0,042	0,044
Coco		0,043	0,044	0,045
Celulosa	Manto	0,039		
	Guata	0,038	0,041	0,043
Cáñamo	Panel rígido	0,040		
	Panel flexible	0,038	0,039	0,040
	Granel	0,048	0,054	0,060
Algodón	Manto	0,036		
	Rollo	0,034		
	Granel	0,042	0,046	0,050

Tabla 115 Valores mínimos - medios y máximos de conductividad térmica según fabricantes, λ [W/m.K]

MATERIALES		Vmin.	Vmed.	Vmáx.
Vermiculita	0,5 – 2mm	55	62,5	70
	0,5 – 3mm	105	115	125
	1 – 4mm	105	115	125
	2 – 6mm	100	150	200
Perlita	0 – 1,5mm	48	56,5	65
	3 – 5mm	105	115	125
VC		100	150	200
PUR		25	32,5	40
XPS		30	31,5	33
EPS		10	30	50
Lana de roca	P. rígido	90	120	150
	P. semi-rígido	30	50	70
	Granel	20	45	70
Lana de vidrio	P. semi-rígido	90	145	200
	P. flexible	20	50	80
Paja		80	105	130
Madera WF	P. rígido	170	215	260
	P. flexible	30	100	170
	Granel	35		
Lino		30	35	40
Lana de oveja	Mantos	15	22,5	30
	Placas	35		
	Granel	28		
Corcho	Blanco	200	225	250
	Negro	110	115	120
	Granel	65	72,5	80
Coco		100	120	140
Celulosa	Manto	70	80	90
	Guata	25	45	65
Cáñamo	Panel rígido	30	35	40
	Panel flexible	26	36	46
	Granel	110		
Algodón	Manto	25	42,5	60
	Rollo	30	50	70
	Granel	20	25	30

Tabla 116 Valores mínimos - medios y máximos de densidad según fabricantes, ρ [Kg/m³]

Evaluación

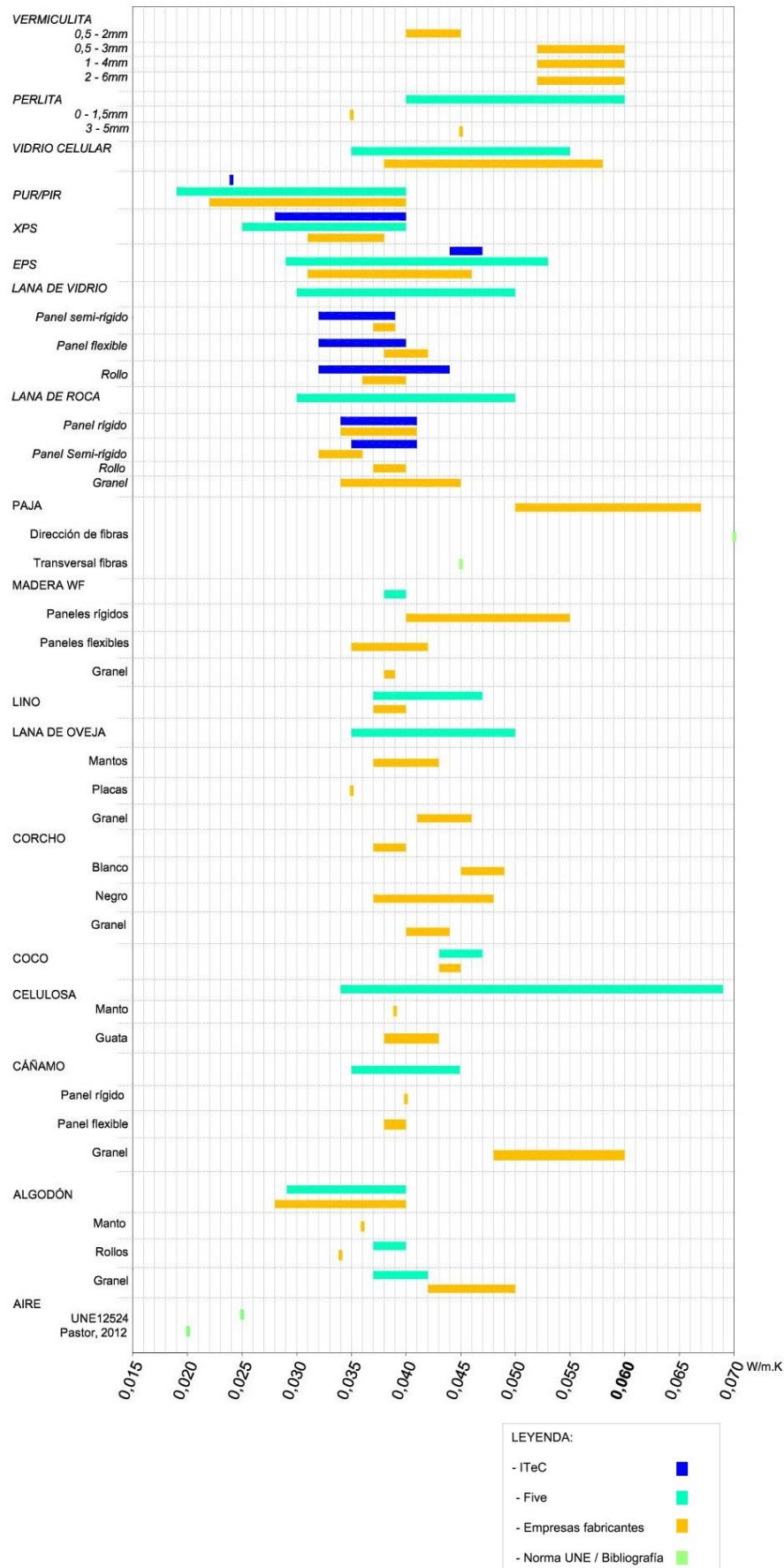


Gráfico 1 Valores de conductividad térmica según diversas fuentes

Evaluación

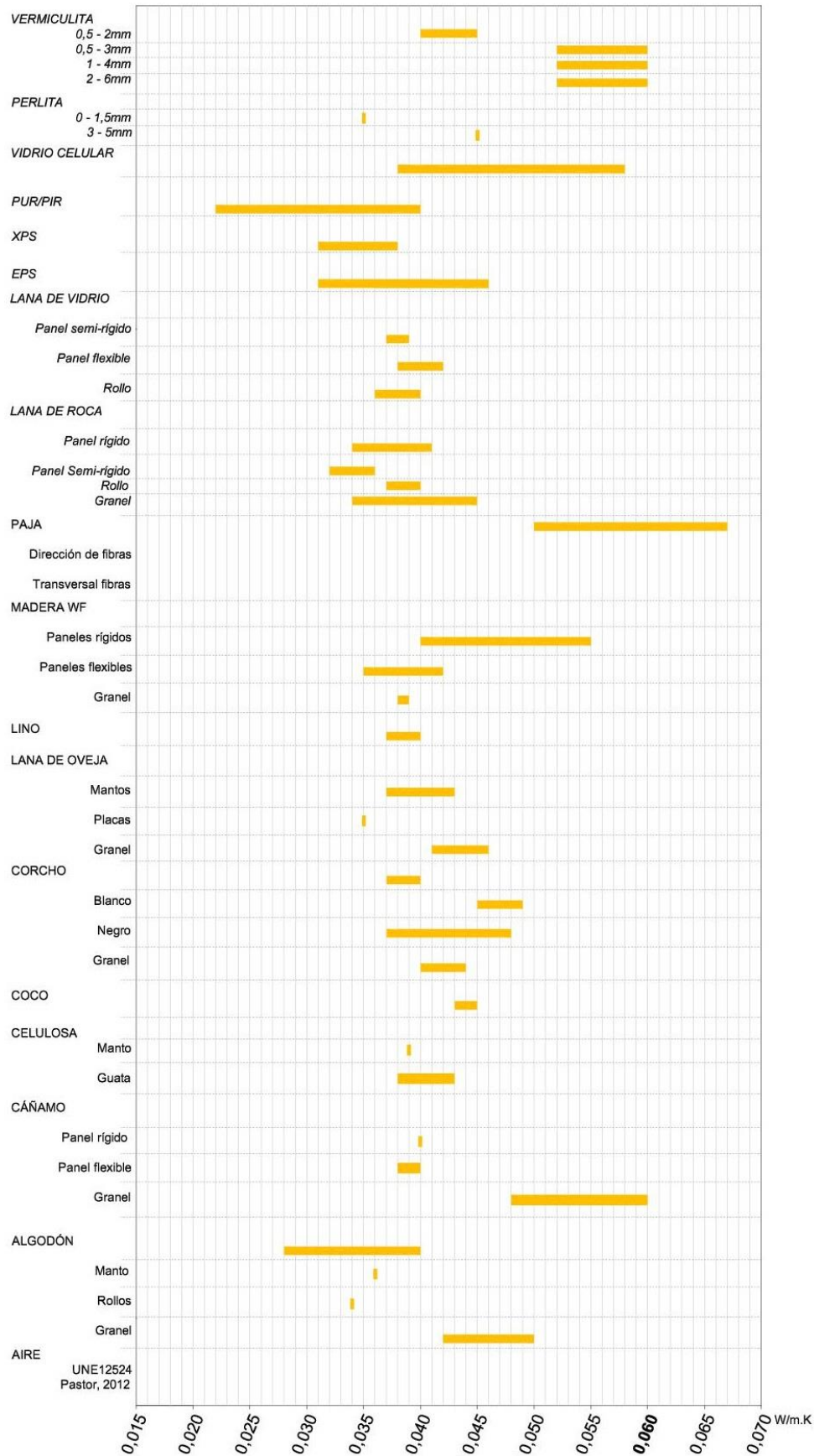


Gráfico 2 Valores de conductividad térmica según fabricantes

Evaluación

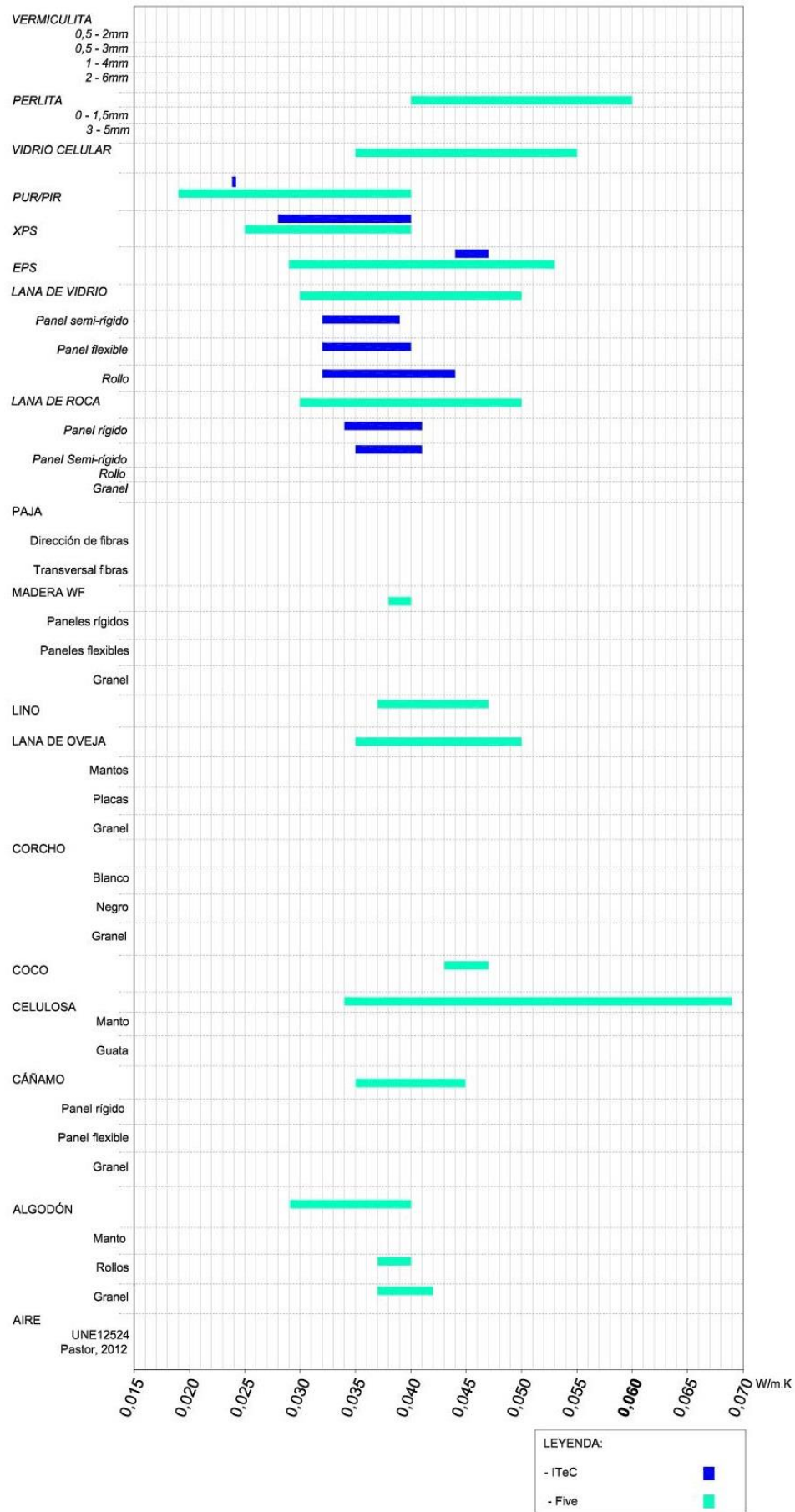


Gráfico 3 Valores de conductividad térmica según las bases de datos Five y Bedec (ITeC)

En las gráficas 1, 2 y 3 se pueden ver los valores de conductividad térmica según las bases de datos *Five* e *ITeC*, según empresas fabricantes y bibliografía consultada (normas UNE mayoritariamente). Se han introducido los valores del aire para realizar la comparativa.

El rango más común de conductividad térmica está entre 0,030 y 0,050 W/m.K. Los materiales aislantes de origen vegetal y animal están entre rangos de 0,035 y 0,055 W/m.K. La paja es el único material que vemos sale de estos rangos y es debido a que las empresas fabricantes proporcionan datos muy generales sin especificar la dirección de las fibras; dato importante para lograr un buen aislamiento con este material. Por lo que ha sido necesario recurrir a fuentes bibliográficas para obtener estos valores; 0,045 W/m.K en la dirección transversal a las fibras y 0,070 W/m.K en dirección de las fibras; lo que nos hace ver que la dirección perpendicular a las fibras es la más adecuada para un buen aislamiento. Con estos datos, además, vemos que a pesar de que las empresas dan un rango de valores sin concretar y distinguir el aspecto clave de la disposición de las fibras, no coinciden en absoluto con los valores redondos que proporcionan las fuentes bibliográficas¹⁹⁹.

A pesar de contactar con algún fabricante de módulos de paja preguntando acerca de estos datos no hemos obtenido respuesta. Hubiera sido una muy buena aportación estas cifras, ya que provienen de la experiencia de campo, de ver cómo funciona el material en obra y con el paso del tiempo.

Por otro lado, los materiales de origen mineral y derivados del petróleo a excepción de la perlita y vermiculita, tienen unos valores relativamente bajos, situándose en rangos entre 0,022 y 0,040 W/m.K. El poliuretano es el que peor capacidad de conducción del calor posee seguido de los poliestirenos y la lana de roca.

Un inconveniente que se puede ver en una primera visual es la disparidad entre valores de un mismo material tanto entre empresas y bases de datos como entre las propias bases de datos como se observa en el gráfico 3.

En el gráfico 1, donde están reunidos todos los valores, se ve que los más concretos y detallados son los que dan las empresas fabricantes aportando valores de cada producto correspondiente a cada material como es el caso del corcho o la lana de roca. Estos valores en pocas ocasiones coinciden con los aportados por las bases de datos. Los valores generales del algodón, por ejemplo, son muy similares, aunque al ver los valores de conductividad de los rollos y granel no coinciden en absoluto. En los rollos, *Five* nos da valores entre 0,037 y 0,040 W/m.K, las empresas

¹⁹⁹ MINKE, Gernot, MAHLKE, Friedemann. *Manual de construcción con fardos de paja*. Editorial Fin de Siglo. SBN 9974-49-361-7

Fiche Materiau LA PAILLE (ficha técnica) [web]. ARPE Agenc régionale du développement durable [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: https://www.arpe-mip.com/files/EXPO_ECOMAT2008/MA15_fiche_materiau_paille.pdf

0,034 W/m.K y en los productos a granel *Five* proporciona un rango entre 0,037 y 0,042 W/m.K mientras que las empresas parten de 0,042 W/m.K hasta 0,050 W/m.K.

Otro caso, es el de la celulosa donde la base de datos *Five* nos da un rango de valores generales muy amplio, 0,034 a 0,069 W/m.K, sin mencionar los mantos y la guata de celulosa. Llegar hasta valores de 0,069 W/m.K puede parecer disparatado si se comparan con los valores proporcionados por los fabricantes donde el manto tiene una conductividad térmica de 0,039 W/m.K y la guata un rango entre 0,033 W/m.K a 0,043 W/m.K.

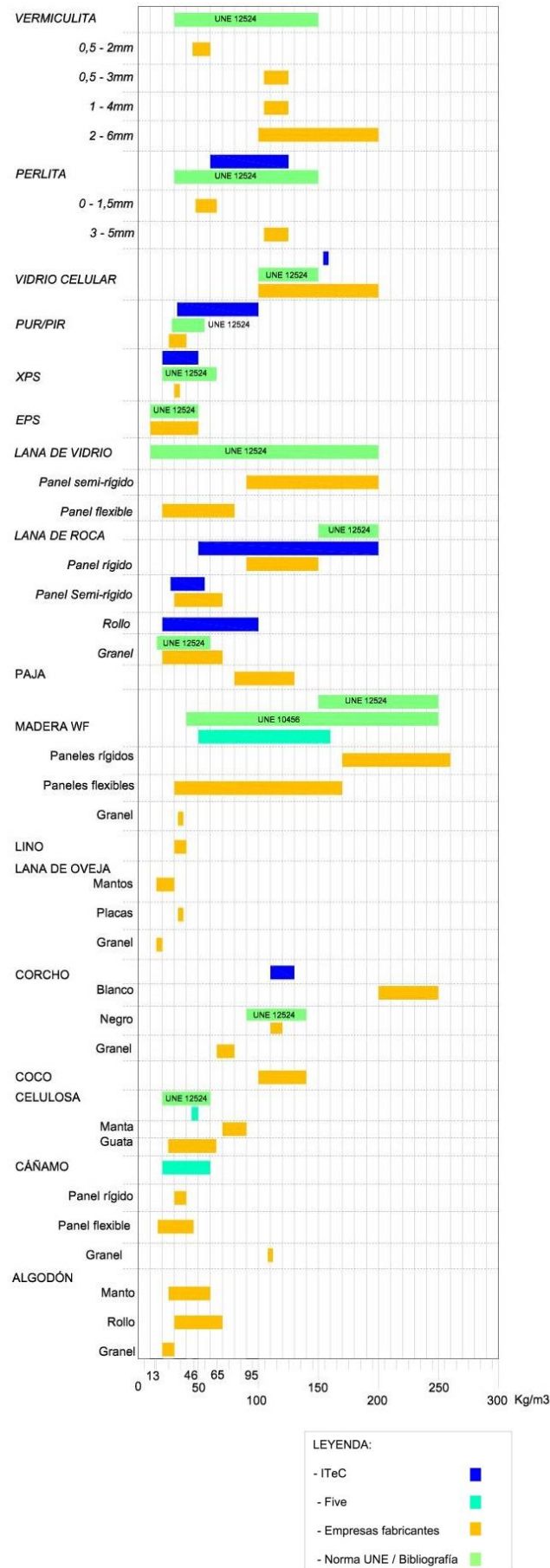
Otros materiales como la lana de vidrio donde tenemos muchas fuentes que nos aportan valores de conductividad térmica, pero con rangos muy diferentes. *Five* sólo nos da un grupo de valores generales del material (0,030 a 0,050 W/m.K). El banco de datos *Bedec (ITeC)* nos proporciona más información, pero de nuevo son rangos muy amplios (partiendo del mismo valor para los tres productos, 0,032 W/m.K) en comparación con los aportados por las empresas fabricantes. Incluso en el caso de los paneles flexibles los valores no coinciden exactamente, en *ITeC* dan valores entre 0,032 W/m.K a 0,040 W/m.K y los fabricantes establecen el rango de 0,038 W/m.K a 0,042 W/m.K.

Las diferencias entre las cifras aportadas por las bases de datos se ven mejor en el gráfico 3. En él se observa por un lado, *Five* nos da rangos muy amplios y sin tener en cuenta, en la mayoría de las ocasiones, los diferentes formatos de productos de los materiales aislantes a excepción del algodón. Por otro lado, *ITeC* aporta valores más ajustados fijándose en los diferentes formatos del material, pero únicamente aporta datos de ciertos materiales convencionales. Dejando ambas fuentes determinados materiales sin aportar cifras como es el corcho, la paja o la vermiculita.

Sería interesante poder contar con valores de todos los materiales que se están analizando. A pesar de que algunos no están muy extendidos en su uso, es importante poder comparar sus prestaciones con los demás para poder llegar a una conclusión y hacer una buena elección en cada tipo de obra.

Un buen punto de partida sería que las empresas y bases de datos trabajaran conjuntamente para establecer un criterio a la hora de la publicación de los datos, ofreciendo los valores de las mismas propiedades que nos permitieran a los técnicos poder estudiar y comparar los materiales. Ya que la experiencia en esta investigación me permitido comprobar que en cada material puedo obtener datos de densidad y espesor ó de conductividad térmica y espesor, por ejemplo; limitando de esta forma la comparativa entre los materiales. Por tanto sería interesante que todos los organismos unificaran la lista de propiedades a aportar.

Evaluación



Evaluación

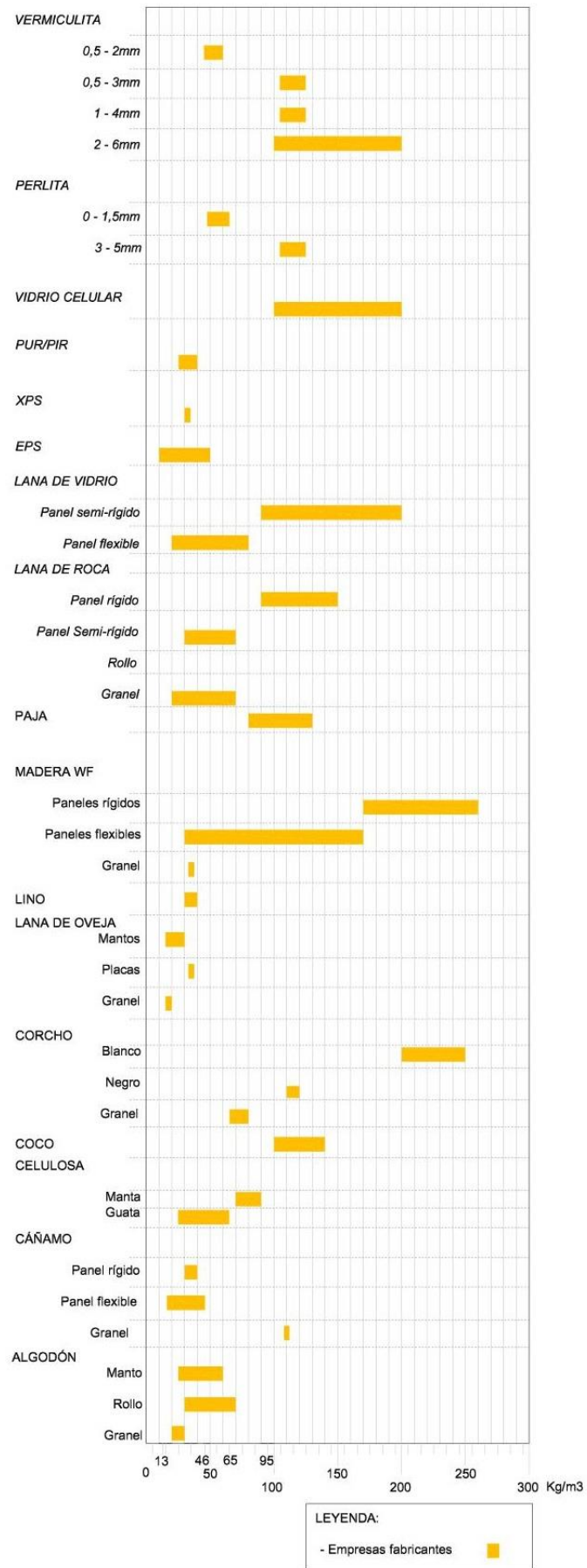


Gráfico 5 Valores de densidad según fabricantes

Evaluación

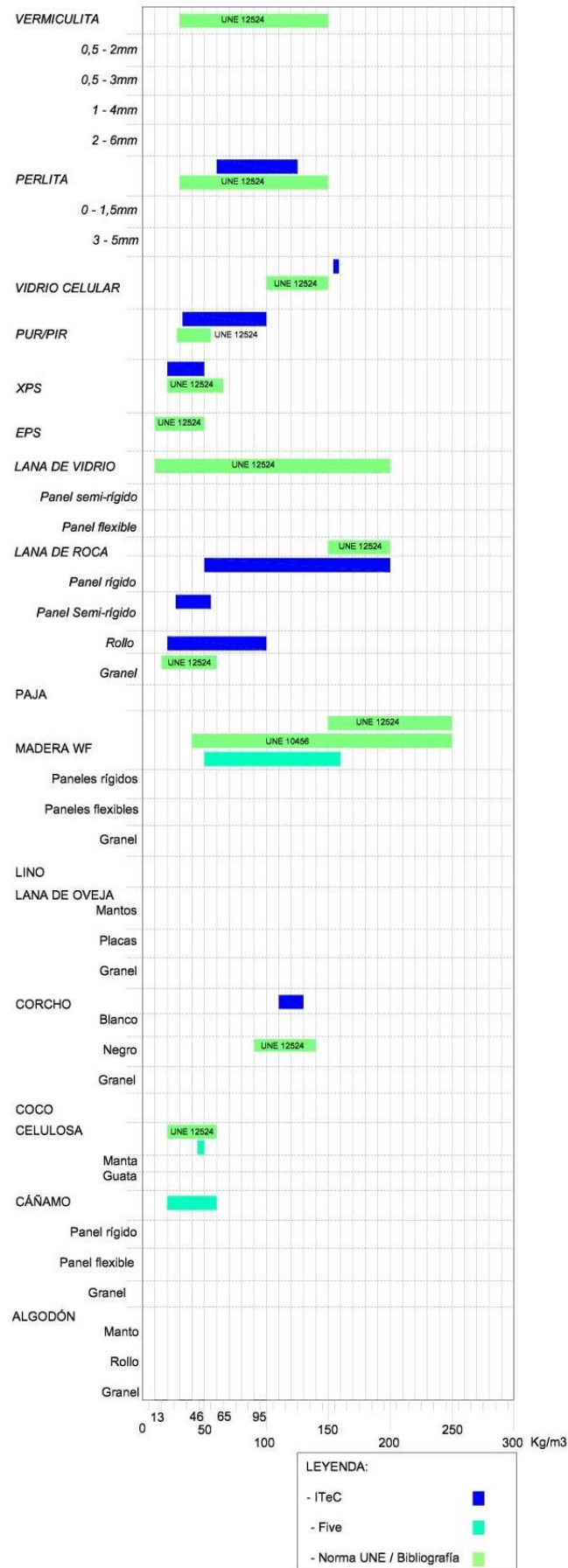


Gráfico 6 Valores de densidad según las bases de datos Five y Bedec (ITeC) y normas UNE

En las gráficas 4, 5 y 6 se pueden ver los valores de densidad según las bases de datos *Five* e *ITeC*, según empresas fabricantes y bibliografía consultada (normas UNE).

Como se puede ver los aislantes con rangos de menor densidad son los que tienen origen vegetal (a excepción de los paneles de madera, el corcho, la paja y el cáñamo a granel), la lana de roca (excepto los paneles rígidos) y los aislantes derivados del petróleo (poliuretano, Poliestireno expandido, Poliestireno extruído). Esto se debe a que son materiales muy porosos, los que forman paneles flexibles (materiales vegetales) o los de origen sintético. Estos últimos, obteniendo el material sólido, se vería que es una parte ínfima en comparación con el formato final de aislante, debido a que están formados en un porcentaje muy alto de celdas de aire.

Materiales como la perlita o vermiculita expandidas son más densos, y aunque estos valores después de la expansión disminuyan mucho (perlita natural 1.100 Kg/m^3), se observa que siguen siendo materiales densos.

Observamos también la información aportada por las bases de datos y las normas UNE²⁰⁰ (gráfico 6). Son rangos de valores muy amplios, como en el caso de la madera o lana de vidrio, y generales sin especificar el producto. O el caso contrario como el vidrio celular donde los valores de *ITeC* y UNE son mucho más bajos en comparación con el aportado por los fabricantes.

Como en el caso de la conductividad térmica las empresas aportan valores más concretos y detallados de cada producto en contraposición con bancos de datos y normas UNE.

²⁰⁰ España. UNE-EN 12524-2000 Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores de diseño tabulados. Aenor 2000.

España. UNE-EN ISO 10456-2012 Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño. Aenor 2012.

Evaluación

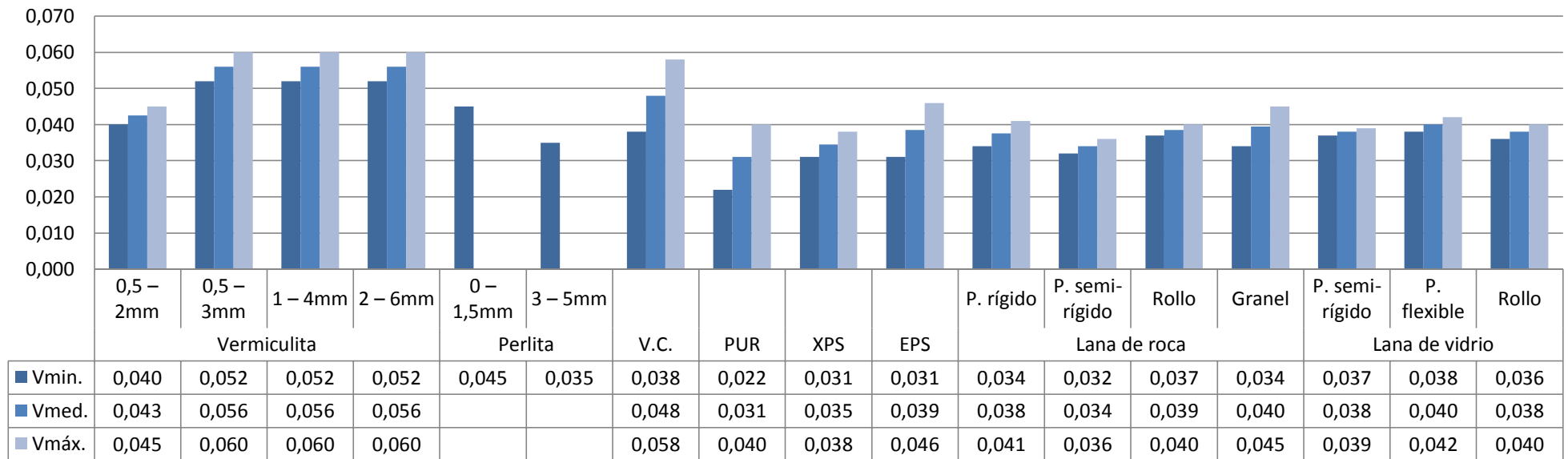


Gráfico 7 Valores de conductividad térmica según fabricantes, λ [W/m.K]

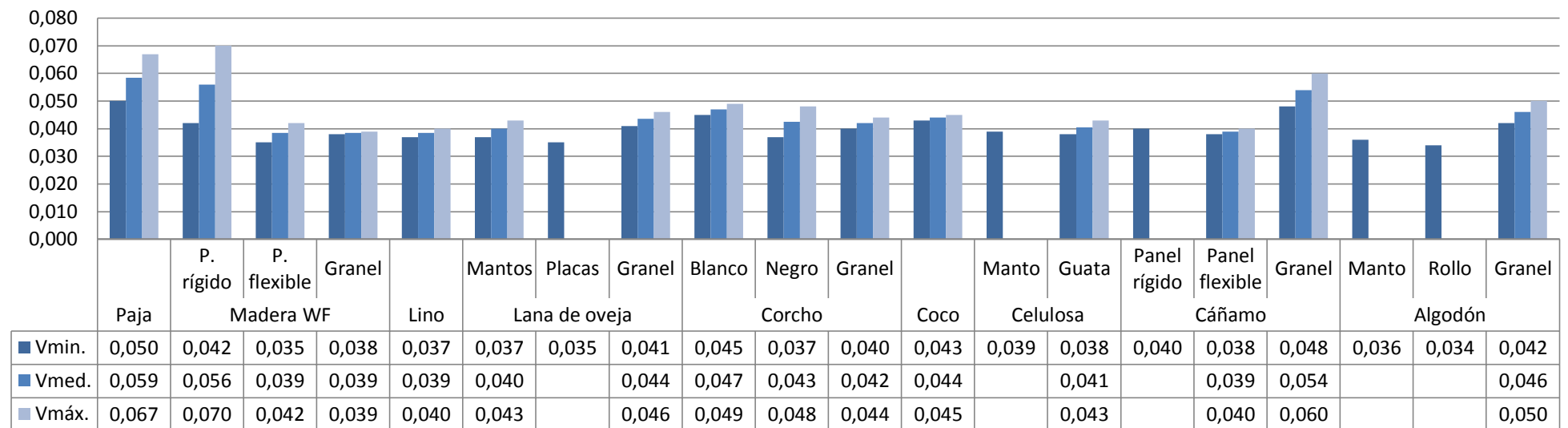


Gráfico 8 Valores de conductividad térmica según fabricantes, λ [W/m.K]

Evaluación

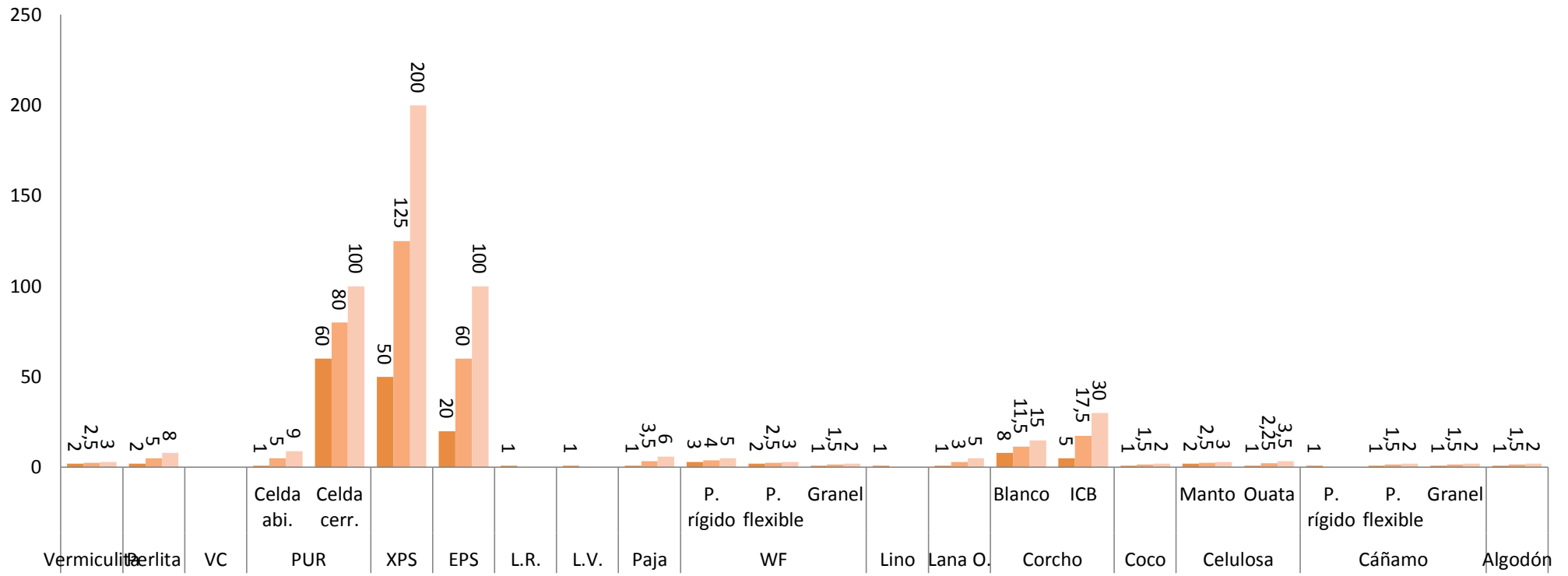


Gráfico 9 Valores de la resistencia a la difusión al vapor de agua según fabricantes, μ [adimensional]²⁰¹

²⁰¹ La empresa Amorim aporta datos de la resistencia a la difusión al vapor de agua del corcho negro por valor de 20.

En los gráficos 7 y 8 podemos ver los valores mínimos, medios y máximos de conductividad térmica a partir de datos proporcionados por los fabricantes. Valores, como se ven muy uniformes si hacemos dos grupos diferenciados sin considerar la perlita y vermiculita, que aunque las empresas nos hablan de sus cualidades para emplear como aislantes en cámaras de aire, normalmente se usan para la elaboración de hormigones ligeros, morteros aislantes, recrecidos o prefabricados aislantes y ligeros. El primero, aislantes de materiales con origen animal y vegetal con valores entre 0,030 y 0,050 W/m.K y el segundo, materiales de origen mineral (lanas minerales) y derivados del petróleo tiene conductividades térmicas más bajas entre 0,022 y 0,040 W/m.K.

La conductividad térmica es una característica de los materiales que depende de la Transmitancia térmica y del espesor, además de otros factores como la humedad o la densidad, por ejemplo.

Comparando los valores de conductividad de cada material en función de si son paneles rígidos, flexibles o a granel. Vemos los siguientes aspectos:

- Los valores correspondientes al producto en granel son mayores, ya que no tiene una estructura homogénea y continua debido a su configuración de estructura con mayor tamaño de poros. Algún ejemplo de esto son el algodón o la lana de oveja. Esto hace que su capacidad térmica (inercia) sea menor (como se observa en los gráficos 13 y 14). Aunque este hecho vemos que se corrobora con la perlita y vermiculita, al haber valores de granel únicamente, no es adecuado incluir comentarios de estos materiales ya que no existen paneles rígidos.
- Los valores inmediatamente inferiores son los de los paneles rígidos, los cuales son menos porosos (más densos) lo que significa que tienen una capacidad de conducción del calor mayor que los paneles flexibles, es decir, aíslan menos. Un ejemplo claro lo vemos en el caso de la madera donde los paneles rígidos tiene valores de 0,042 W/m.K y los flexibles de 0,035 W/m.K
- Y finalmente están los paneles flexibles con el menor valor de conductividad térmica. Se observa, por ejemplo, que los materiales con valores más bajos de conductividad, como es el caso del poliuretano de celda cerrada o los Poliestirenos, tienen mayor resistencia a la difusión del vapor de agua (gráfico 9), a pesar de que el vidrio celular tiene un valor infinito. En el ejemplo del poliuretano vemos perfectamente la diferencia que hay entre materiales de celda abierta y celda cerrada. En este aspecto es importante tener en cuenta que debemos procurar hacer cerramientos permeables para permitirles “respirar”, evitando así condensaciones.

Los materiales con poros abiertos tienen valores más altos de conductividad y menores de resistencia a la difusión del vapor de agua, permiten que el cerramiento transpire mejor. En este tipo de materiales (de origen natural, vegetal y animal), vemos que el que mayores cifras de resistencia a

Evaluación

la difusión de vapor de agua es el corcho con valores de entre 5 y 30; lo que es debido a que posee una estructura de poros de pequeño tamaño. Esto nos puede llevar a pensar que su resistencia es mayor, pero analizando el volumen de poros, se observa que el volumen de huecos es mayor (considerando el volumen entre los gránulos de corcho y el que se aprecia a través de un microscopio que existe en el interior del material) que el volumen del material sólido.



Ilustración 106 Plancha de corcho natural. Contiene cerca del 60% de aire. Fuente: Amorim²⁰²

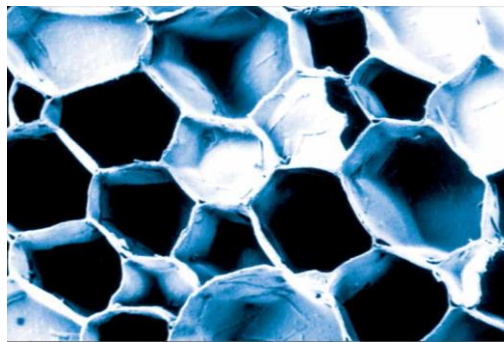


Ilustración 107 Aspecto de la célula del corcho observada en microscopio. Fuente: Amorim²⁰²

²⁰² [Plancha de corcho natural]. En: Amorim. A arte da cortiça [en línea] [S.l.]: Amorim, agosto 2014 [consulta: 05 marzo 2016]
Disponible en: http://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/Brochura_Arte_Cortiça_PT_Small.pdf

Evaluación

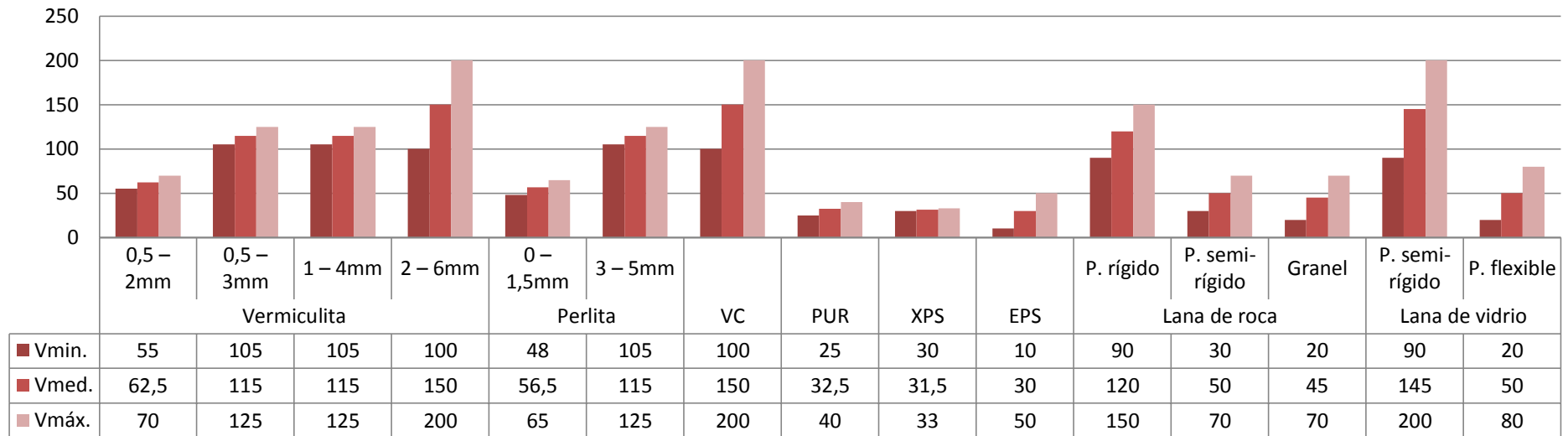


Gráfico 10 Valores de densidad de materiales aislantes según fabricantes, ρ [Kg/m³]

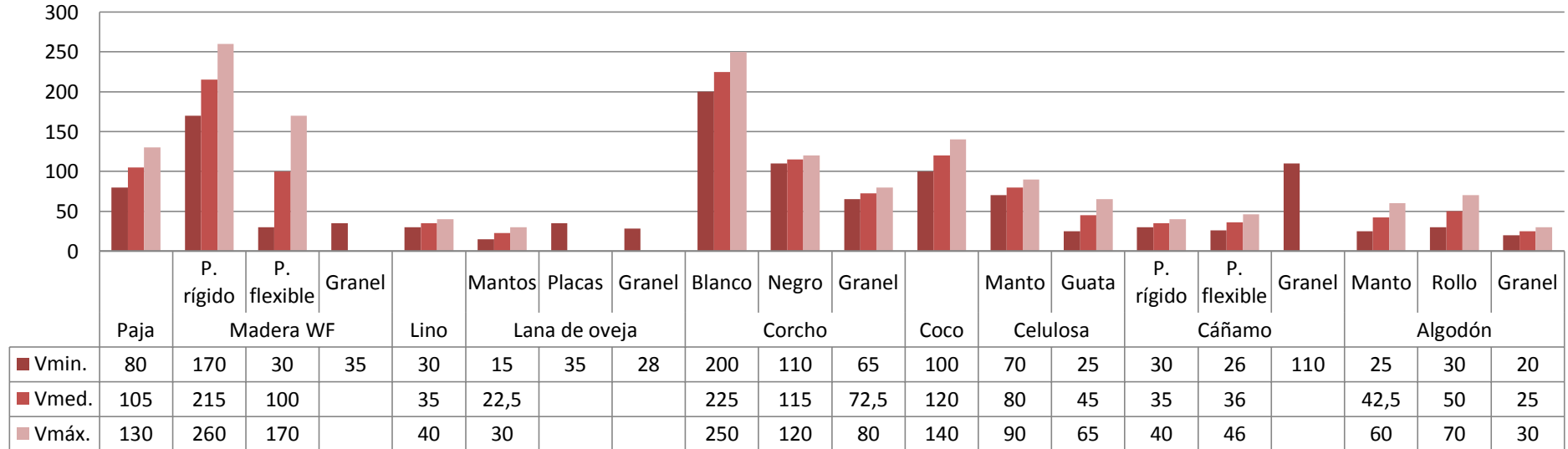


Gráfico 11 Valores de densidad de materiales aislantes según fabricantes, ρ [Kg/m³]

Evaluación

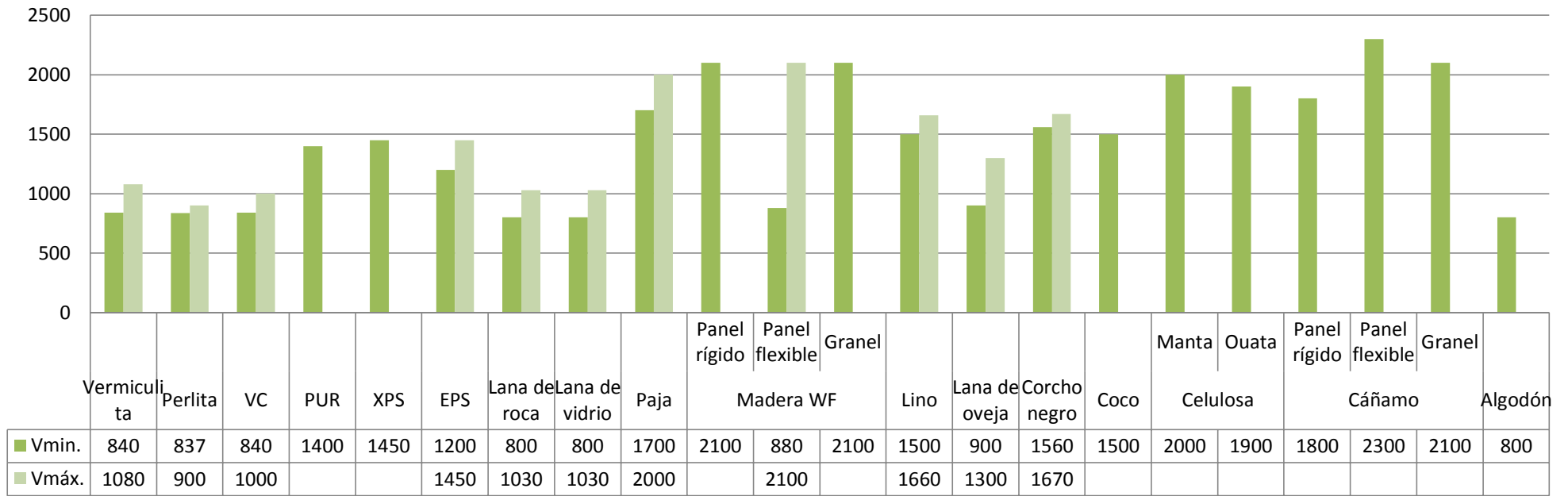


Gráfico 12 Valores de calor específico según fabricantes, Cp [J/Kg.K]

Evaluación

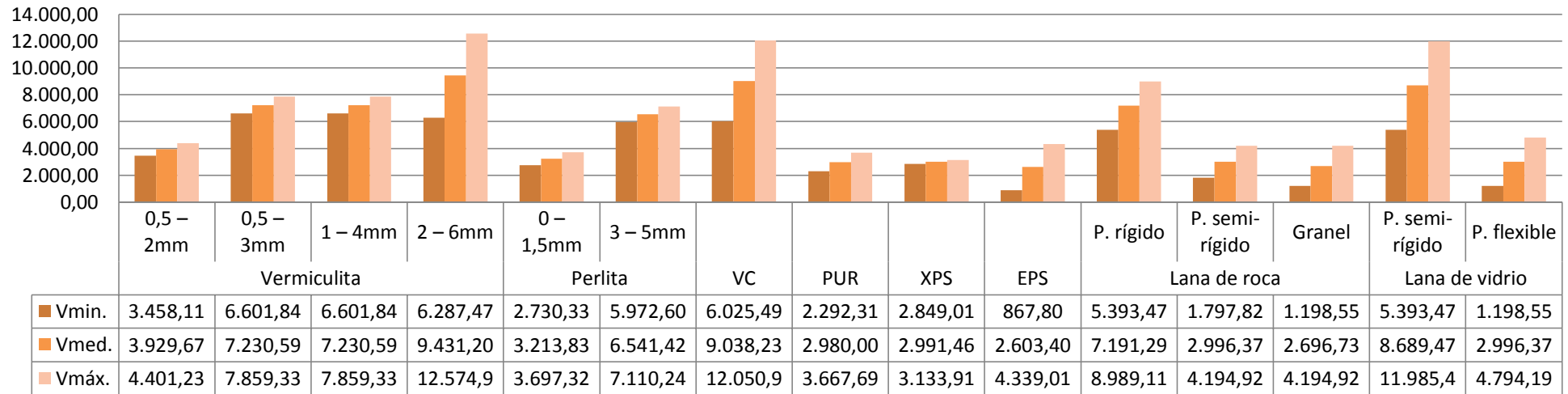


Gráfico 13 Capacidad térmica de los materiales aislantes, C [Kcal/°C]²⁰³

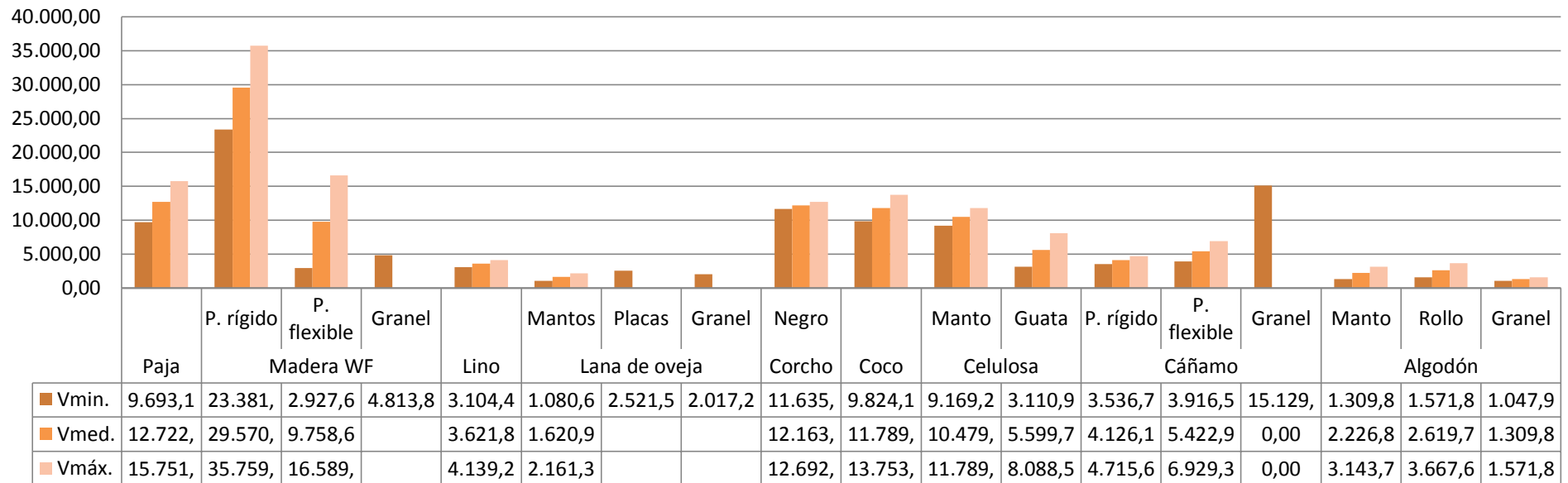


Gráfico 14 Capacidad térmica de los materiales aislantes, C [Kcal/°C]²⁰³

²⁰³ Los valores de capacidad térmica proporcionados están calculados a partir de la fórmula $C=V \cdot \rho \cdot C_p$; el volumen considerado es de $V=1 \text{ m}^3$, los valores de densidad son los correspondientes a los dados en la tabla 117 y los valores de C_p son una media de los valores que se reflejan en el gráfico 12.

En los gráficos 10 y 11 se representan los valores mínimos, medios y máximos de la densidad de los aislantes térmicos objeto de estudio según datos aportados por los fabricantes.

Los materiales más densos son los de origen mineral (perlita, vermiculita y vidrio celular) junto con los paneles rígidos de madera y el corcho blanco. Este fenómeno lo analizamos más detenidamente analizando la diferencia de valores dentro de un mismo material:

- Si hablamos de paneles rígidos, son los más densos, ya que hay más cantidad de material sólido y la estructura de poros es menor.
- Los paneles flexibles son más porosos, por lo que la densidad es menor.
- Finalmente los aislantes a granel son los menos densos, ya que el material posee una estructura de poros abierta y de gran tamaño.

Un material denso tiene una porosidad menor lo que significa que tendrá mayor capacidad para almacenar energía (gráfico 12, calor específico); y cuanto mayor sea su densidad mejor inercia térmica tendrá.

En los gráficos 13 y 14 podemos ver la inercia térmica de los materiales aislantes. Vemos que a mayor densidad mayor capacidad térmica. Normalmente los materiales a granel tendrán menor inercia que los paneles rígidos o flexibles.

Vemos que hay alguna excepción que rompe esta regla. Es el caso de la lana de oveja o el cáñamo donde se aprecia mucho mejor la diferencia de valores de la capacidad térmica de paneles rígidos o flexibles y la capacidad térmica del granel. Esto es debido a que obtenemos estos valores mediante la expresión $C=m.C_p=V.\rho.C_p^{204}$, al aplicarla en el caso del cáñamo, por ejemplo, la densidad del material a granel tiene un valor de 110kg/m^3 a diferencia de los paneles (rígidos o flexibles) que tiene valores de 20 a 50kg/m^3 . El calor específico es mayor en los paneles rígidos, 2300 J/kg.k , pero es una diferencia muy pequeña con el formato a granel que tiene un valor de 2100 J/kg.k . En el caso de la lana de oveja se observa que el valor de la densidad del granel es superior, 28 J/kg.k , que el de los mantos.

Otro caso que merece ser mencionado son los materiales de origen mineral (perlita y vermiculita) que se han adoptado valores de productos a granel, ya que no hay constancia de que fabriquen paneles rígidos sin ser mezclados con yeso, morteros o hormigones. Vemos que tienen una capacidad térmica alta a pesar de que su capacidad de acumulación de energía (calor específico) está entre los más bajos (gráfico 12). Esto se debe a los valores de la densidad, que como se puede ver en los gráficos 10 y 11 están entre 100 y 200kg/m^3 .

²⁰⁴ V= volumen de la muestra considerada. En este caso para realizar la comparativa tomamos un volumen de 1m^3 .

ρ = densidad del material (gráficos 10 y 11)

C_p = calor específico (gráficos 13 y 14)

En los siguientes gráficos, 15 y 16, se compara el gasto energético y las emisiones de CO₂ de los materiales aislantes. Por esto, a continuación se redactan las características consideradas de cada uno de ellos.

Corcho

- m² Placa de corcho aglomerado (ICB), según norma UNE-EN 13170, de densidad 110 kg/m³, de 20 mm de espesor, colocadas no adheridas.
- m² Placa de corcho aglomerado (ICB), según norma UNE-EN 13170, de densidad 110 kg/m³, de 40 mm de espesor, colocadas no adheridas.
- m² Placa de corcho aglomerado (ICB), según norma UNE-EN 13170, de densidad 110 kg/m³, de 80 mm de espesor, colocadas no adheridas.
- m² Placa de corcho aglomerado (ICB), según norma UNE-EN 13170, de densidad 110 kg/m³, de 100 mm de espesor, colocadas no adheridas.

Lana de roca

- m² Aislamiento con placa rígida de lana mineral de roca, según UNE-EN 13162, de densidad 161 a 200 kg/m³ de 20 mm de espesor, con una conductividad térmica $\leq 0,039$ W/mK, resistencia térmica $\geq 0,51282$ m².K/W, colocada sin adherir.
- m² Aislamiento con placa rígida de lana mineral de roca, según UNE-EN 13162, de densidad 116 a 125 kg/m³ de 40 mm de espesor, con una conductividad térmica $\leq 0,037$ W/mK, resistencia térmica $\geq 1,081$ m².K/W, colocada sin adherir.
- m² Aislamiento con placa rígida de lana mineral de roca, según UNE-EN 13162, de densidad 116 a 125 kg/m³ de 80 mm de espesor, con una conductividad térmica $\leq 0,037$ W/mK, resistencia térmica $\geq 2,162$ m².K/W, colocada sin adherir.
- m² Aislamiento con placa rígida de lana mineral de roca, según UNE-EN 13162, de densidad 116 a 125 kg/m³ de 100 mm de espesor, con una conductividad térmica $\leq 0,037$ W/mK, resistencia térmica $\geq 2,703$ m².K/W, colocada sin adherir.

Lana de vidrio

- m² Aislamiento con placa rígida de lana mineral de vidrio para aislamientos (MW), según UNE-EN 13162, de espesor 20 mm, con una conductividad térmica $\leq 0,033$ W/mK, resistencia térmica $\geq 0,60606$ m².K/W, colocado sin adherir.
- m² Aislamiento con placa rígida de lana mineral de vidrio para aislamientos (MW), según UNE-EN 13162, de espesor 40 mm, con una conductividad térmica $\leq 0,033$ W/mK, resistencia térmica $\geq 1,212$ m².K/W, colocado sin adherir.
- m² Aislamiento con placa rígida de lana mineral de vidrio para aislamientos (MW), según UNE-EN 13162, de espesor 80 mm, con una conductividad térmica $\leq 0,033$ W/mK, resistencia térmica $\geq 2,424$ m².K/W, colocado sin adherir.

Evaluación

- m² Aislamiento con placa rígida de lana mineral de vidrio para aislamientos (MW), según UNE-EN 13162, de espesor 100 mm, con una conductividad térmica $\leq 0,033$ W/mK, resistencia térmica $\geq 3,03$ m².K/W, colocado sin adherir.

Vidrio celular

- m² Aislamiento con placas de vidrio celular de densidad 157 kg/m³ de 20 mm de espesor, colocadas no adheridas.
- m² Aislamiento con placas de vidrio celular de densidad 157 kg/m³ de 40 mm de espesor, colocadas no adheridas.

Poliuretano

- m² Aislamiento con placas de espuma de poliuretano, de densidad 40 kg/m³, 20 mm de espesor, autoextinguible, colocadas no adheridas.
- m² Aislamiento con placas de espuma de poliuretano, de densidad 40 kg/m³, 40 mm de espesor, autoextinguible, colocadas no adheridas.
- m² Aislamiento con placas de espuma de poliuretano, de densidad 40 kg/m³, 80 mm de espesor, autoextinguible, colocadas no adheridas.

En el caso del Poliestireno expandido y extruido se partió considerando únicamente el espesor, ya que en el banco de datos Bedec no nos proporcionaban valores de densidad o conductividad térmica de estos materiales, de ahí que tengamos variables manteniendo constante este valor; puesto que las características que cambian su valor son la resistencia térmica y la resistencia a compresión. A pesar de esto, los valores de coste energético (MJ/Kg) y las emisiones de CO₂, que analizamos en los siguientes gráficos, no sufren cambios a excepción de la influencia del espesor.

Poliestireno expandido

- m² Aislamiento con planchas de Poliestireno expandido EPS S, de 20 mm de espesor, de 0,45 m².K/W de resistencia térmica, con caras de superficie lisa y canto liso, colocadas no adheridas.
- m² Aislamiento con planchas de Poliestireno expandido EPS S, de 40 mm de espesor, de 0,85 m².K/W de resistencia térmica, con caras de superficie lisa y canto liso, colocadas no adheridas.
- m² Aislamiento con planchas de Poliestireno expandido EPS S, de 40 mm de espesor, de 1 m².K/W de resistencia térmica, con caras de superficie lisa y canto liso, colocadas no adheridas.
- m² Aislamiento con planchas de Poliestireno expandido EPS S, de 40 mm de espesor, de 1,05 m².K/W de resistencia térmica, con caras de superficie lisa y canto liso, colocadas no adheridas.
- m² Aislamiento con planchas de Poliestireno expandido EPS S, de 40 mm de espesor, de 1,1 m².K/W de resistencia térmica, con caras de superficie lisa y canto liso, colocadas no adheridas.
- m² Aislamiento con planchas de Poliestireno expandido EPS S, de 40 mm de espesor, de 1,15 m².K/W de resistencia térmica, con caras de superficie lisa y canto liso, colocadas no adheridas.
- m² Aislamiento con planchas de Poliestireno expandido EPS S, de 80 mm de espesor, de 2 m².K/W de resistencia térmica, con caras de superficie lisa y canto liso, colocadas no adheridas.

Evaluación

- m² Aislamiento con planchas de Poliestireno expandido EPS S, de 80 mm de espesor, de 2,15 m².K/W de resistencia térmica, con caras de superficie lisa y canto liso, colocadas no adheridas.
- m² Aislamiento con planchas de Poliestireno expandido EPS S, de 80 mm de espesor, de 2,35 m².K/W de resistencia térmica, con caras de superficie lisa y canto liso, colocadas no adheridas.
- m² Aislamiento con planchas de Poliestireno expandido EPS S, de 80 mm de espesor, de 2,05 m².K/W de resistencia térmica, con caras de superficie lisa y canto liso, colocadas no adheridas.
- m² Aislamiento con planchas de Poliestireno expandido EPS S, de 80 mm de espesor, de 1,75 m².K/W de resistencia térmica, con caras de superficie lisa y canto liso, colocadas no adheridas.
- m² Aislamiento con planchas de Poliestireno expandido EPS S, de 100 mm de espesor, de 2,15 m².K/W de resistencia térmica, con caras de superficie lisa y canto liso, colocadas no adheridas.

Poliestireno extruido

- m² Aislamiento de plancha de Poliestireno extruido (XPS), según UNE-EN 13164, de 40 mm de espesor y resistencia a compresión ≥ 200 kPa, resistencia térmica entre 1,176 y 1,081 m².K/W, con la superficie lisa y con canto recto, colocada sin adherir.
- m² Aislamiento de plancha de Poliestireno extruido (XPS), según UNE-EN 13164, de 40 mm de espesor y resistencia a compresión ≥ 300 kPa, resistencia térmica entre 1,176 y 1,081 m².K/W, con la superficie lisa y con canto recto, colocada sin adherir.
- m² Aislamiento de plancha de Poliestireno extruido (XPS), según UNE-EN 13164, de 80 mm de espesor y resistencia a compresión ≥ 200 kPa, resistencia térmica entre 2,353 y 2,162 m².K/W, con la superficie lisa y con canto recto, colocada sin adherir.
- m² Aislamiento de plancha de Poliestireno extruido (XPS), según UNE-EN 13164, de 80 mm de espesor y resistencia a compresión ≥ 300 kPa, resistencia térmica entre 2,353 y 2,162 m².K/W, con la superficie lisa y con canto recto, colocada sin adherir.
- m² Aislamiento de plancha de Poliestireno extruido (XPS), según UNE-EN 13164, de 100 mm de espesor y resistencia a compresión ≥ 200 kPa, resistencia térmica entre 2,941 y 2,703 m².K/W, con la superficie lisa y con canto recto, colocada sin adherir.
- m² Aislamiento de plancha de Poliestireno extruido (XPS), según UNE-EN 13164, de 100 mm de espesor y resistencia a compresión ≥ 300 kPa, resistencia térmica entre 2,941 y 2,703 m².K/W, con la superficie lisa y con canto recto, colocada sin adherir.

Evaluación

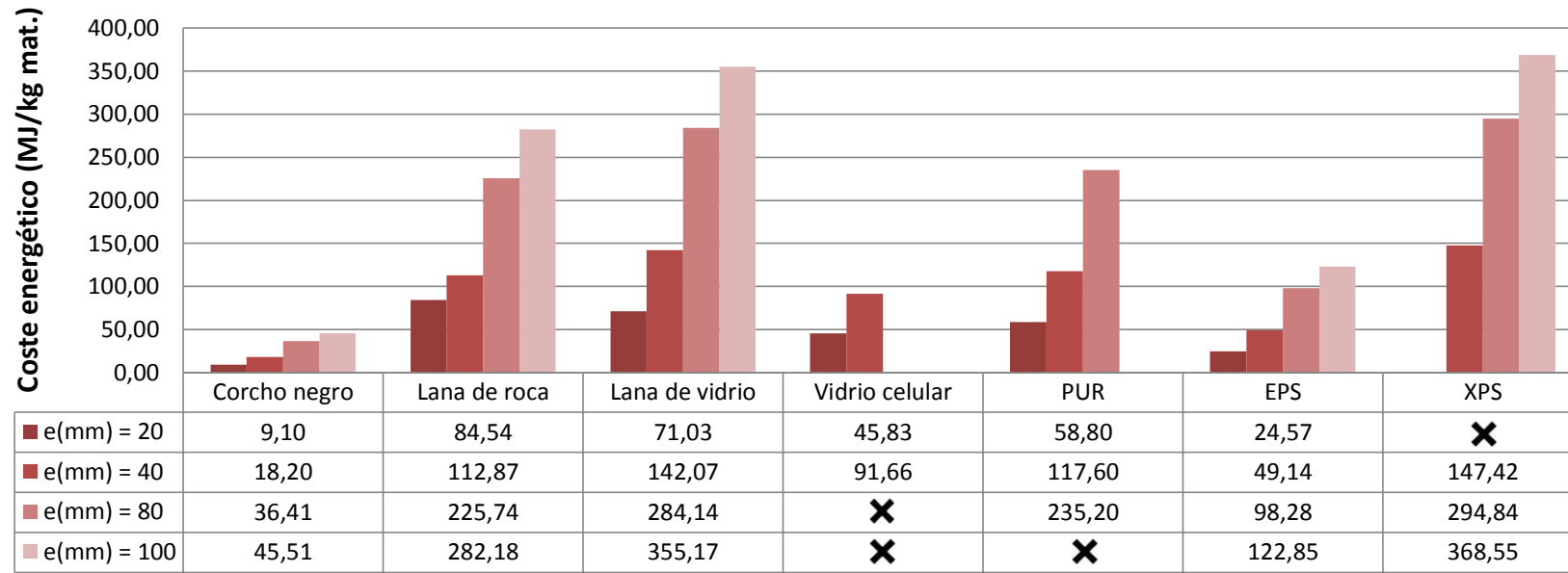


Gráfico 15 Coste energético en la fabricación de materiales aislantes. Fuente: ITeC (Base de datos BEDEC)

Diferencia de coste energético entre materiales						
e= 40mm	Lana Roca	Lana vidrio	Vidrio C.	PUR	EPS	XPS
Corcho negro	6,20	7,81	5,04	6,46	2,70	8,10
Lanas minerales	---	---	---	---	---	---
L.R.	---	1,26	1,23	1,04	2,30	1,31
L.V.	1,26	---	1,55	1,21	2,89	1,04
Derivados petróleo	---	---	---	---	---	---
PUR	---	---	---	---	2,39	1,25
EPS	---	---	---	1,25	---	3

Tabla 117 Valores comparativos de coste energético (MJ/Kg)

Evaluación

En el gráfico 15 se refleja el coste energético en la fabricación de los diferentes aislamientos térmicos. A primera vista vemos que el material de origen vegetal es el que menos impacto provoca, sin olvidarnos que en su fabricación se alcanzan temperaturas de hasta 560 °C. Aunque estos valores si los comparamos con las cifras que se alcanzan en la fabricación de la lana de roca (1.600 °C), la lana de vidrio (de 1.300 a 1.500 °C) o el vidrio celular (se realizan dos procesos alcanzando temperaturas de 1.250 °C y 850 °C respectivamente) vemos la razón de la incrementación del coste energético.

En la tabla 117 se reflejan los valores calculados de coste energético entre materiales, cogiendo un espesor de 40mm. Vemos que el coste energético de los aislantes en comparación con el corcho está entre 5 y 8 veces más, siendo los mayores valores de la tabla. Por lo que se afirma que el corcho es el material que menos impacto tiene. Aunque no tenemos datos de los valores del resto de materiales de origen animal y vegetal, hemos visto en la investigación de cada uno de ellos que los procedimientos son menos dañinos.

Comparando el resto de materiales, vemos que de los materiales de origen mineral la lana de vidrio es la que más impacto genera. Provoca 1,26 veces más coste energético que la lana de roca y 1,55 veces más que el vidrio celular. Siendo este último el que menor coste energético provoca. Si comparamos los valores con los aislantes que proceden del petróleo, vemos que la lana de vidrio está muy cercana al Poliestireno extruido. Pero este último supera cualquier valor, ya que tiene un proceso de fabricación costoso que requiere mayor energía.

Finalmente, vemos los valores de los aislantes derivados del petróleo donde el mayor sigue siendo el Poliestireno extruido muy por encima del Poliestireno expandido, tres veces más, que aunque en este se emplean temperaturas de 110 °C, en el primero se superan, además de influir la presión (conlleva más gasto energético al variar estos factores). En el caso del poliuretano hay una diferencia 1,25 veces mayor.

Evaluación

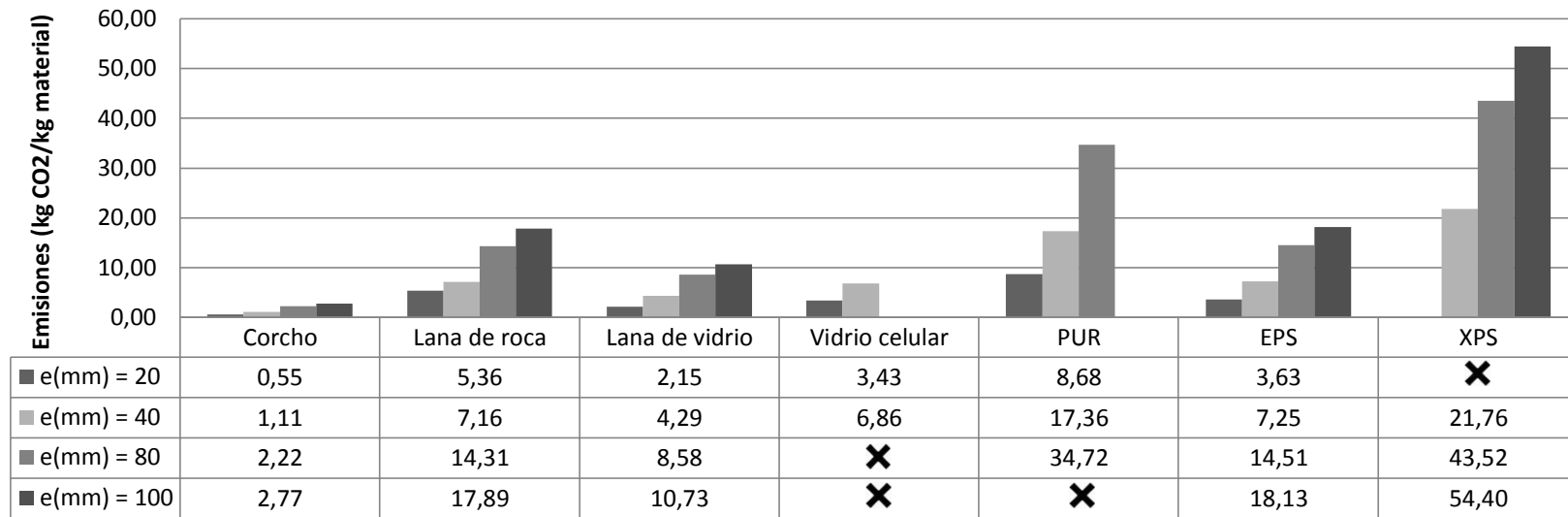


Gráfico 16 Emisiones de CO₂ en la fabricación de materiales aislantes. Fuente: ITeC (Base de datos BEDEC)²⁰⁵

Diferencia de emisiones de CO ₂ entre materiales						
e= 40mm	Lana Roca	Lana vidrio	Vidrio C.	PUR	EPS	XPS
Corcho negro	6,45	3,86	6,18	15,64	6,53	19,60
Lanas minerales	---	---	---	---	---	---
L.R.	---	1,67	1,04	2,42	1,01	3,04
L.V.	1,67	---	1,60	4,05	1,69	5,07
Derivados petróleo	---	---	---	---	---	---
PUR	---	---	---	---	2,39	1,25
EPS	---	---	---	2,39	---	3,00

Tabla 118 Valores comparativos de emisiones de CO₂

²⁰⁵ La empresa Amorim nos proporcionó datos de emisiones de CO₂ en el proceso de fabricación del corcho negro por valor de 16Kg CO₂/m³ (teniendo en cuenta que no tenemos conocimiento del espesor del material).

El gráfico número 16 representa las emisiones producidas en la fabricación de seis materiales aislantes. Como se ve la elaboración del corcho es el proceso que menos emisiones genera. Para realizar una comparativa se ha hecho la tabla 118, donde se representa la diferencia de emisiones que hay entre los distintos materiales en su fabricación.

Vemos que en el caso de la lana de roca y el corcho, ésta produce 6,45 veces más emisiones de CO₂, un valor no muy lejano del coste energético al igual que el caso del vidrio celular (6,18 CO₂/kg). En el caso de la lana de vidrio las emisiones son de 3,86 veces más CO₂/kg de material. Esto nos hace comparar este valor con el coste energético que es casi cuatro veces mayor (7,81MJ/kg). Lo que nos lleva a pensar que en el proceso de fabricación de la lana de vidrio el coste de la producción de altas temperaturas y electricidad es mayor que las emisiones generadas.

Otro aspecto que llama la atención son las diferencias de emisiones entre las lanas minerales, ya que después de conocer el proceso de fabricación de ambas y ver que el coste energético es superior en la lana de vidrio, las emisiones son mayores en la lana de roca. Lo que puede ser debido a que en este material se llegan a temperaturas mayores en el proceso de horneado (1.600 °C en la lana de roca y de 1.300 a 1.500 °C en la lana de vidrio).

Finalmente, hay que destacar también la coincidencia de valores en los materiales derivados del petróleo en el coste energético y las emisiones de CO₂.

Evaluación

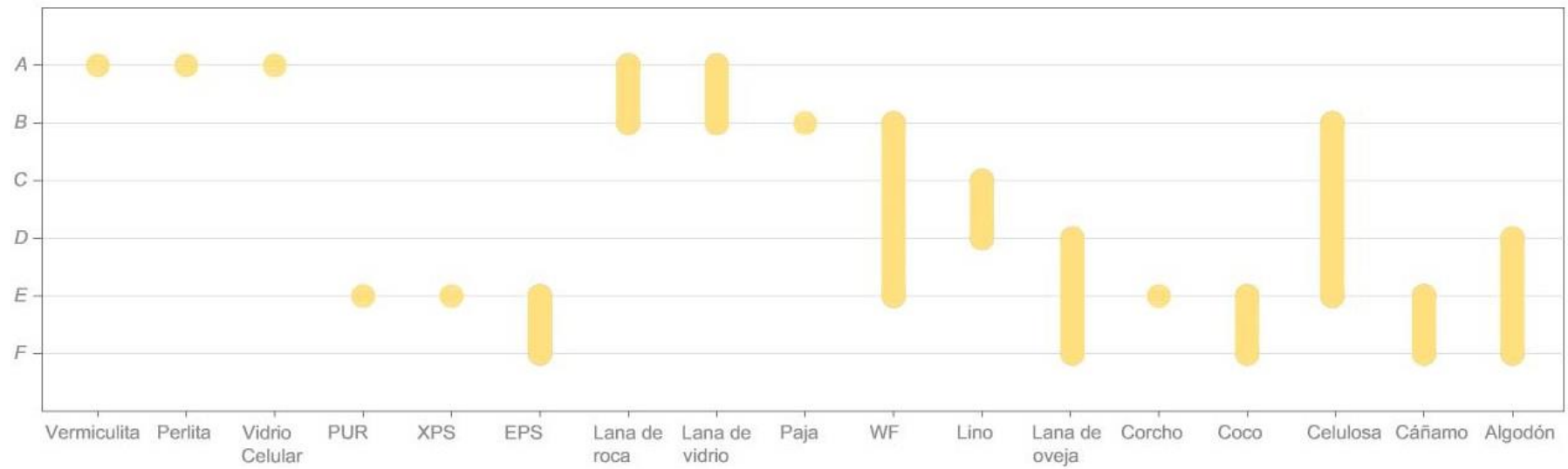


Gráfico 17 Clasificación de la reacción al fuego de los materiales aislantes según fabricantes



Gráfico 18 Producción de humos de los materiales aislantes según fabricantes

En los gráficos 17 y 18 analizaremos la reacción al fuego de los diferentes aislamientos, su contribución, y la producción de humos.

La contribución de humos es un factor importante que debemos tener en cuenta en caso de incendio, ya que el contacto del humo con las mucosas del cuerpo humano provoca su irritación. Si entra en contacto con los ojos puede producir lagrimeo dificultando la visión. Y puede provocar intoxicación y fallecimiento. El humo también evita el paso de la luz dificultando poder evacuar los ocupantes del lugar donde se produce el incendio.

En igualdad de condiciones algunos materiales emiten más humo que otros. El humo puede tener distintos colores, algunos de ellos son:

- ✓ Humo blanco: se produce por la combustión de materiales vegetales.
- ✓ Humo amarillo: producido por sustancias químicas con contenido en azufre, ácido clorhídrico y nítrico.
- ✓ Humo gris: emitido por materiales compuestos por celulosa o fibras artificiales.
- ✓ Humo negro claro es producido por la combustión del caucho.
- ✓ Humo negro oscuro: plásticos, petróleo, materiales acrílicos.

Otra clasificación del humo es si arde en presencia de abundante oxígeno o con falta de él. El humo blanco normalmente se produce en incendios con alto contenido de oxígeno mientras que el humo negro en fuegos que arden con falta de oxígeno.

En el gráfico 17 se pueden ver los materiales según su reacción al fuego. Los materiales que son sometidos a altas temperaturas en su fabricación como las lanas minerales, el vidrio celular, la perlita y la vermiculita tienen una clasificación A o B, es decir, no son combustibles o tienen una contribución muy limitada al fuego.

Bajando el escalafón, tenemos los materiales clasificados con una reacción C o D, materiales combustibles, con una contribución limitada o media al fuego. Y finalmente los materiales clasificados con una reacción E, combustibles, contribución alta al fuego; y F materiales sin comportamiento determinado. El resto de aislantes están en rangos dentro de estos valores, los cuales van a estar condicionados en función de la composición de los materiales y de los aditivos que lleven (retardantes de llama).

La madera está entre B y E una clasificación que depende en gran medida de la composición que tengan los productos. Si tenemos paneles donde el aglutinante es el poliuretano, va a contribuir más al fuego que si el aglutinante fuera la propia lignina de la madera. Además, como vemos en el segundo gráfico, se producirá más humo y, como se ha explicado, al ser un material que proviene del petróleo, será un humo negro que además de dificultar la evacuación, puede provocar intoxicación.

Otros materiales aislantes que llevan derivados del petróleo empleados como ligantes son el algodón (15-30% aglutinante termoplástico, poliéster), el cáñamo (las mantas tienen un 15% de

Evaluación

poliéster), el corcho blanco (4% de resinas de poliuretano), la lana de oveja (10-15% Poliestireno o poliéster) y el lino (puede estar compuesto de 80% de lino, 10% almidón de patata y 10% bórax, ó bien, sustituyendo el almidón por un 15% de poliéster). En caso de materiales como el lino, la lana de oveja, el coco o la celulosa, los fabricantes usan retardantes de llama como el bórax o el fosfato de amonio, lo que mejora su reacción al fuego.

Finalmente, en el gráfico 18 vemos qué materiales tienen una mayor producción de humos, factor muy ligado al origen del aislante (vemos que los que más humo producen son los derivados del petróleo y, además, es de color negro, el más peligroso) y a los aditivos empleados como retardantes (un ejemplo es la lana de oveja que algunas fuentes le daban una clasificación “s3”, aunque con las sales de bórax mejora a “s2”, y la celulosa). Por último vemos que los materiales aislantes de origen vegetal con baja producción de humos son la madera y el corcho si en su composición no tienen aglutinantes de poliuretano.

Los aislantes que son sometidos a altas temperaturas en su fabricación tiene una baja (lanas minerales) o nula producción de humos (vermiculita, perlita y vidrio celular).

5. Conclusiones

- A la hora de elegir un material aislante debemos ser críticos con los datos que nos aportan, ya que nos pueden indicar desde el valor oficial, de la conductividad térmica por ejemplo, al resultado de pruebas experimentales que normalmente son más favorables en relación con los ensayos realizados en estos materiales, ya que en ellos hay que tener en cuenta que las condiciones de humedad, temperatura o presión atmosférica, pudiendo conceder a un material valores más beneficiosos para el fabricante.
- Como técnicos debemos analizar, valorar y comparar los materiales que usaremos en cada caso para hacer una elección adecuada no solo en función a las tan importantes características intrínsecas del material, sino también considerando el impacto medioambiental y emisiones que se producen a lo largo del ciclo de vida del material. Puesto que está de nuestra mano, de toda la sociedad, cuidar la salud del medio en el que vivimos y en consecuencia de la nuestra.
- La gran repercusión que tiene el impacto ambiental de la edificación en nuestra sociedad encuentra en los materiales 100% reciclados una oportunidad para su reducción. Esto se debe a que la reconversión de residuos en materias primas (cradle to cradle) reduce significativamente los efectos negativos de la fabricación de los materiales: el consumo de recursos no renovables, el gasto energético y las emisiones de efecto invernadero de la producción, la liberación de tóxicos al medio y la generación de residuos sólidos, entre otros.

6. Anexos

6.1 Terminología

En este apartado se dispone la terminología empleada en el trabajo por orden alfabético.

- Agua salobre
- Anisótropo
- Biocida
- Biodegradable
- Carbón de coke
- Carbón Sink
- Cardado
- Clasificación de sustancias cancerígenas
- Densidad aparente global
- Energía incorporada o energía gris (embodied energy)
- Endotérmico
- Escanda
- Eutrofización
- Exotérmico
- Filtro
- Flashover
- Huella hídrica
- Índice GWP
- Isótropo
- Manta
- Máquina de Fourdrinier
- Material ignífugo
- Mineralizar
- Normas ISO
- Panel o plancha o placa
- Parafina
- PBDE
- PCB
- Permetrina
- Picea

Anexos
Terminología

- Plástico termoplástico
- Plástico termoestable
- Plástico elastómero
- Punto de ignición o punto de inflamación
- Rollo
- Sumidero de carbono
- Sustancia CMR
- Temperatura de transición vítrea
- Trazabilidad
- Valor térmico declarado
- Valor térmico de diseño
- Vulcanización

AGUA SALOBRE: es aquella que tiene más sales disueltas que el agua dulce, pero menos que el agua de mar. Técnicamente, se considera agua salobre la que posee entre 0.5 y 30 gramos de sal por litro, expresados más frecuentemente como de 0.5 a 30 partes por mil.

ANISÓTROPO: dicho de una sustancia o cuerpo que posee propiedades distintas según la dirección en que se midan.

BIOCIDAS: son sustancias químicas sintéticas o de origen natural o microorganismos que están destinados a destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer un control de otro tipo sobre cualquier organismo considerado nocivo para el hombre.

BIODEGRADABLE: material que se produce de forma natural en la naturaleza y, si se desecha fuera se descompondrá sin causar efectos adversos sobre el medio ambiente (Ver UNE EN 13243-2005).

CARBÓN DE COKE: combustible sólido formado por la destilación de carbón bituminoso calentado a temperaturas de 500 a 1100 °C sin contacto con el aire. El proceso de destilación implica que el carbón se limpia de alquitrán, gases y agua. Este combustible o residuo se compone en 90 a 95% de carbono. Nitrógeno, oxígeno, azufre e hidrógeno están presentes en cantidades menores. Es poroso y de color negro a gris metálico. En cuanto a temperatura de producción existen dos tipos de coque: el coque de alta temperatura, formado a los 900 a 1100 °C y el de baja temperatura, formado a los 500 a 700 °C.

CARBÓN SINK: también llamado sumidero de carbono, es un depósito natural o artificial de carbono, que absorbe de la atmósfera el CO₂ y contribuye a reducir la cantidad del mismo del aire.

CARDADO: proceso que tiene el objetivo de limpiar, paralelizar e individualizar las fibras de lana de oveja, dándole forma de mantas.

CLASIFICACIÓN DE SUSTANCIAS CANCERÍGENAS: la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la Comunidad Económica Europea (CEE) se dedican a elaborar listas de sustancias cancerígenas, mutágenas y teratógenas. Las clasifican de la siguiente forma:

IARC organismo de la Organización Mundial de la Salud, clasifica las sustancias en tres grandes grupos:

- **Grupo 1:** procesos industriales, compuestos químicos o grupos de los mismos que son cancerígenos para el hombre.
- **Grupo 2:** productos clasificados como probables carcinógenos para el hombre. Este grupo se subdivide en dos:
 - **2A alta** probabilidad cancerígena
 - **2B baja** probabilidad cancerígena
- **Grupo 3:** productos que no pueden considerarse cancerígenos para el hombre.

CEE; la Comunidad Económica Europea asigna la siguiente denominación en función del riesgo:

- Productos cancerígenos **R 45:** pueden causar cáncer.
- Sustancias mutágenas **R 46:** pueden causar alteraciones genéticas hereditarias.
- Sustancias teratógenas **R 47:** pueden causar malformaciones congénitas.

DENSIDAD APARENTE GLOBAL: la masa por unidad de volumen de un producto, incluyendo todas las pieles superficiales durante la fabricación, pero excluyendo cualquier acabado o revestimiento.

ENERGÍA INCORPORADA O ENERGÍA GRIS (EMBODIED ENERGY): hace referencia a la cantidad de energía consumida en todas las fases del ciclo de un producto, material o servicio. El concepto es útil como un indicador de eficiencia ambiental cuando se quiere comparar alternativas de los materiales, productos o servicios mismos o de los procesos en cada una de las fases del ciclo.

ENDOTÉRMICA: cualquier reacción química que absorbe energía.

ESCANDA: espelta o trigo espelta (*Triticum spelta*), también conocida como escaña mayor o escanda mayor, es una especie decereal del género *Triticum* (trigo). Es una planta hexaploide, al tener seis juegos de 6 cromosomas. Es un cereal adaptado a climas duros, húmedos y fríos.

La espelta proviene de la escanda silvestre (*Triticum dicoccoides* Kór.): híbrido natural entre *Triticum boeoticum* Boiss y, posiblemente, *Aegilops speltoides* Tausch, presentes en el próximo Oriente y documentado desde hace siete milenios — en yacimientos arqueológicos de Irak, Israel y Turquía (Harlan, 1976). Su extensión por el Mediterráneo fue rápida y en la Península Ibérica fue explotada desde los mismos inicios de la agricultura, hace unos cinco milenios (Hopf, 1987).

Desde la Edad Media se cultiva en Asturias (España), Suiza, Tirol (Austria) y el sur de Alemania. La famosa abadesa Hildegarda de Bingen escribe sobre la espelta en su libro *Liber simplicis Medicinae*: «La espelta es el mejor grano. Es nutritivo y mejor tolerado que cualquier otro grano. La espelta provee a quien la come de todos los nutrientes para tener una óptima salud y aporta una mente feliz. No importa cómo se tome, ya sea como pan o en otra manera, porque es buena y fácil de digerir».

EUTROFIZACIÓN: aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. Eutrofizado es aquel ecosistema o ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes.

EXOTÉRMICA: se denomina reacción exotérmica a cualquier reacción química que desprenda energía, ya sea como luz o calor. Por lo tanto se entiende que las reacciones exotérmicas liberan energía.

FIELTRO: manta de poca densidad y espesor.

FLASHOVER o *combustión súbita generalizada* es un fenómeno que se observa en incendios confinados en los cuales de forma repentina todas las superficies combustibles, que hasta ese momento no estaban implicadas en el incendio, comienzan a arder a consecuencia de la radiación proveniente de las llamas que recorren el techo (*rollover*) provocando que todo el volumen del recinto sea ocupado por las llamas.

HUELLA HÍDRICA Ó HUELLA DE AGUA: es la étrica o métricas con las que se cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua, según UNE-ISO 14046, ó el volumen total de agua dulce usado para producir los bienes y servicios producidos por una empresa, o consumidos por un individuo o comunidad. El uso de agua se mide en el volumen de agua consumida, evaporada o contaminada, ya sea por unidad de tiempo para individuos y comunidades, o por unidad de masa para empresas. La huella de agua se puede calcular para cualquier grupo definido de consumidores (por ejemplo, individuos, familias, pueblos, ciudades, provincias, estados o naciones) o productores (por ejemplo, organismos públicos, empresas privadas o el sector económico). La huella de agua es un indicador geográfico explícito que muestra volúmenes de uso y contaminación de agua. Sin embargo, la huella de agua no proporciona información sobre cómo el agua consumida afecta positiva o negativamente a los recursos locales de agua, los ecosistemas y los medios de subsistencia.

ÍNDICE GWP: (acrónimo del inglés Global-warming potential - GWP) define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy una liberación instantánea de 1kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO₂. De esta forma, se pueden tener en cuenta los efectos radiativos de cada gas, así como sus diferentes periodos de permanencia en la atmósfera. GWP para otros gases puede ser calculado para periodos de 20, 100 o 500 años, siendo 100 años el valor más frecuente. Por ejemplo, el GWP para 100 años del metano es 25, en otras palabras, la emisión de 1 millón de toneladas de metano es equivalente a emitir 25 millones de toneladas de CO₂ (equivalente). Así, el dióxido de carbono tiene un valor GWP de 1.

ISÓTROPO: material que presenta las mismas propiedades, independientemente de la dirección en que se midan.

MANTA: producto aislante fibroso flexible presentado en forma de rollos o bandas, el cual puede estar revestido o envuelto.

MINERALIZAR: transferir un mineral a una sustancia, provocando un cambio en sus propiedades.

NORMA ISO: La ISO (International Standardization Organization) organismo no gubernamental, tampoco depende de ningún organismo, encargada de favorecer normas de fabricación, comercio y comunicación en todo el mundo (en todas las ramas industriales salvo electricidad y electrónica). Con sede en Ginebra y más de 160 países adheridos, su inicio data del 1947 después de la segunda guerra mundial. Es una federación de organismos nacionales entre los que se incluyen AENOR en España, DIN en Alemania, AFNOR en Francia... Entre las normas ISO más utilizadas se encuentran las referentes a las medidas de papel (ISO 216, que contempla los tamaños DIN-A4, DIN-A3, etc.), los nombres de lenguas (ISO 639), los sistemas de calidad (ISO 9000, 9001 y 9004), de gestión medioambiental (ISO 14000), seguridad y salud de los trabajadores (OSHAS), ISO/IEC 80000 para signos y símbolos matemáticos y magnitudes del sistema internacional de unidades, etcétera.

Estas normas son voluntarias y por lo tanto no tiene autoridad para ser impuestas en un determinado país.

PANEL O PLANCHA O PLACA: producto aislante rígido o semirígido de forma y sección transversal rectangular, con un espesor uniforme y significativamente menor que las otras dimensiones.

PARAFINA: nombre común de un grupo de hidrocarburos alcanos de fórmula general C_nH_{2n+2} , donde n es el número de átomos de carbono. La molécula más simple de parafina es el metano, CH_4 , un gas a temperatura ambiente; en cambio, los miembros más pesados de la serie, como las formas sólidas de parafina, llamadas cera de parafina, provienen de las moléculas más pesadas C_{20} a C_{40} . La parafina, identificada por primera vez por Carl Reichenbach en 1830,¹ es un derivado del petróleo.

Generalmente se obtiene del petróleo, de los esquistos bituminosos o del carbón. El proceso comienza con una destilación a temperatura elevada, para obtener aceites pesados, de los que por enfriamiento a 0 °C, cristaliza la parafina, la cual es separada mediante filtración o centrifugación. El producto se purifica mediante recristalizaciones, lavados ácidos y alcalinos y decoloración. Las refinerías de petróleo normalmente producen parafina. También se puede obtener mediante el craqueo térmico del petróleo, donde se rompen cadenas de carbonos y se añade calor 400-650 °C.

La cera de parafina se encuentra por lo general como un sólido ceroso, blanco, inodoro, carente de sabor, con un punto de fusión típico entre 47 °C y 64 °C. Es insoluble en agua,

Anexos

Terminología

aunque si es soluble en éter, benceno, y algunos ésteres. La parafina no es afectada por los reactivos químicos más comunes, pero se quemafácilmente.

La cera de parafina ($C_{25}H_{52}$) es un material excelente para almacenar calor, que tiene una capacidad calorífica de $2,14-2,9 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ y un calor de fusión de $200-220 \text{ J/g}$.⁶ Esta característica es aprovechada en la modificación de placas de material de construcción, como las de cartón yeso; la parafina es vaciada o inyectada en la placa, donde se derrite durante el día, absorbiendo calor, y se solidifica después, durante la noche, liberando calor.

PBDE: polibromodifenil éteres (PBDE, $C_{12}H_{10-x}Br_xO$ ($x = 1-10 = m + n$) son una clase de compuestos bromados de extenso uso como retardantes de llama en plásticos y espumas, incluidas las carcasas de plástico de equipos electrónicos. Los PBDE son sustancias químicas medioambientalmente persistentes. Algunas de ellas, especialmente los congéneres menos bromados (por ejemplo, los *penta-BDE*), son asimismo altamente bioacumulativos. Su fabricación y uso como aditivos en plásticos y en otros polímeros, en los que no se hallan fuertemente adheridos a la matriz del polímero, nos ha llevado a una situación en la que estos compuestos están ampliamente distribuidos en el medio ambiente. Se pueden detectar PBDEs en el aire y el polvo de interiores tanto en el centro de trabajo como en casa. También se encuentran casi en cualquier parte del medio ambiente, incluidos los sedimentos, en peces de agua dulce y marina, en los huevos de aves e incluso en ballenas de océanos profundos y en el Ártico.

PCB: deriva del término en inglés “PolyChlorinated Biphenyls” que significa Bifenilos Policlorados (ó Difenilos Policlorados, con la sigla DPC). Se la usa en forma genérica la sigla en inglés - en casi todos los idiomas - no sólo para los bifenilos sino también para otros compuestos halogenados aromáticos relacionados con ellos, como por ejemplo los Terfenilos Policlorados, Difenilos Policlorados, etc.

Los PCB son una clase de compuestos químicos orgánicos clorados (organoclorados) de muy alta estabilidad, no corrosivos y muy baja inflamabilidad, que se comenzaron a elaborar por primera vez en 1929 a escala comercial.

Debido a estas características, fueron ampliamente usados durante décadas en una amplio rango de aplicaciones industriales, tales como aceites de corte, selladores, tintas, papel carbónico, aditivos para pinturas, y en particular, refrigerantes y lubricantes en equipos eléctricos cerrados, tales como transformadores y capacitores.

A partir de 1970 comenzó a ser preocupante el impacto de los PCB en el ambiente, fundamentalmente por su persistencia. Esto condujo a decidir un cambio de tecnología y el

reemplazo de este tipo de sustancias, a tal punto que ya en 1977 Estados Unidos de América (uno de los mayores productores) prohibió su elaboración, importación y muchas aplicaciones no eléctricas de PCB.

También en dicho país se comenzó a regular estrictamente su uso, manipulación, almacenamiento y disposición final para las aplicaciones eléctricas. Similar actitud fue adoptada por otros países elaboradores de estas sustancias, tales como Alemania, Japón, Inglaterra, Canadá, por mencionar algunos.

PLÁSTICO TERMOPLÁSTICO: es un plástico que, a temperaturas relativamente altas, se vuelve deformable o flexible, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado de transición vítrea cuando se enfría lo suficiente. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas por medio de fuerzas de Van der Waals débiles (polietileno); fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno, o incluso anillos aromáticos apilados (poliestireno). Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables o termofijos en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos.

PLÁSTICO TERMOESTABLE: conjunto de materiales formados por polímeros unidos mediante enlaces químicos adquiriendo una estructura final altamente reticulada.

La estructura altamente reticulada que poseen los materiales termoestables es la responsable directa de las altas resistencias mecánicas y físicas (esfuerzos o cargas, temperatura...) que presentan dichos materiales comparados con los materiales termoplásticos y elastómeros. Por contra es dicha estructura altamente reticulada la que aporta una baja elasticidad, proporcionando a dichos materiales su característica fragilidad.

PLÁSTICO ELASTÓMERO: conjunto de materiales que formados por polímeros que se encuentran unidos por medio de enlaces químicos adquiriendo una estructura final ligeramente reticulada. El término, que proviene de polímero elástico, es a veces intercambiable con el término goma, que es más adecuado para referirse a vulcanizados. La principal característica de los elastómeros es su alta elongación o elasticidad y flexibilidad que disponen dichos materiales frente a cargas antes de fracturarse o romperse.



Ilustración 108 Estructura interna de los tipos de plásticos. Fuente: losadhesivos²⁰⁶

PERMETRINA: es una sustancia química sintética que se utiliza mundialmente como insecticida y acaricida, así como repelente de insectos y piojos.

PÍCEA: la píceas (*Picea* por su nombre científico) constituye un género de la familia Pinaceae con unas 35 especies. Son árboles entre 20 y 60 metros con porte piramidal, hojas aisladas, planas o tetragonales puntiagudas y estróbilos colgantes que no se disgregan hasta madurar. Entre sus representantes más conocidos está el abeto común europeo *Picea glauca*. La mayoría de las especies del género son árboles longevos y de crecimiento lento.

PUNTO DE IGNICIÓN Ó PUNTO DE INFLAMACIÓN de una materia combustible es el conjunto de condiciones físicas (presión, temperatura) necesarias para que la sustancia empiece a arder y se mantenga la llama sin necesidad de añadir calor exterior.

ROLLO: producto aislante suministrado enrollado en forma cilíndrica.

SUSTANCIAS CMR: sustancias Carcinógenas, Mutágenas y Tóxicas para la Reproducción.

SUMIDERO DE CARBONO O SUMIDERO DE CO₂ (CARDON SINK): es un depósito natural o artificial de carbono, que absorbe el carbono de la atmósfera y contribuye a reducir la cantidad de CO₂ del aire. Los principales sumideros eran los procesos biológicos de producción de carbón, petróleo, gas natural, los hidratos de metano y las rocas calizas. Hoy día son los océanos, y ciertos medios vegetales (bosques en formación).

²⁰⁶ Estructura interna de los tipos de plásticos [en línea] 2011 – 2016 [consulta: 17 febrero del 2016]. Disponible en: <http://www.losadhesivos.com/IMAGENES/estructuras-polimeros.gif> en <http://www.losadhesivos.com/termoplastico.html>

TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA (T_g): es la temperatura a la que se da una pseudotransición termodinámica en materiales vítreos, por lo que se encuentra en vidrios, polímeros y otros materiales inorgánicos amorfos. Esto quiere decir que, termodinámicamente hablando, no es propiamente una transición. La T_g se puede entender de forma bastante simple cuando se entiende que en esa temperatura el polímero disminuye su densidad, dureza y rigidez, además su porcentaje de elongación disminuye de forma drástica.

TRAZABILIDAD: capacidad para reconstruir el historial, la utilización o la localización de un material o de una actividad mediante una identificación registrada (nos permite saber el recorrido y manipulación de un producto desde que nace hasta que llega a su destino).

VALOR TÉRMICO DECLARADO: valor esperado de una propiedad térmica de un material o producto de edificación evaluado a partir de datos medidos en condiciones de temperatura y humedad de referencia, dado para una fracción establecida con un nivel de confianza dado y correspondiente a un tiempo de vida de servicio esperada razonable bajo condiciones normales. (UNE-EN ISO 10456)

VALOR TÉRMICO DE DISEÑO: valor de una propiedad térmica de un material o producto de edificación bajo condiciones específicas exteriores e interiores que pueden considerarse típicas del comportamiento de ese material o producto cuando se incorpora a un componente de edificación. (UNE-EN ISO 10456)

VULCANIZACIÓN: proceso mediante el cual se calienta el caucho crudo en presencia de azufre, con el fin de volverlo más duro y resistente al frío. Este proceso irreversible define a los cauchos curados como materiales termoestables (no se funden con el calor) y los saca de la categoría de los termoplásticos (como el polietileno y el polipropileno).

6.2 Acrónimos

CG	Vidrio celular
CS	Silicato cálcico
CI	Celulosa
EPB	Perlita expandida
EPS	Poliestireno expandido
FEF	Espuma elastomérica flexible
ICB	Corcho expandido
MW	Lana mineral
PE	Polietileno
PEF	Espuma de polietileno
PF	Espuma fenólica
PIR	Espuma rígida de Poliisocianurato
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno expandible
PUR	Poliuretano
RCC	Research and Consulting Company
UF	Espuma urea-formaldehído
WF	Fibras de madera
WW	Lana de madera
SB	Tablero aislante de fibras de madera
XPS	Poliestireno extruido

6.3 Unidades de medida

$$1\text{kcal/h} = 1,163 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 0,868 \text{ kcal/h}$$

$$1 \text{ kcal/h} = 4,186 \text{ J (Julios)}$$

$$1 \text{ J} = 0,2389 \times 10^{-3} \text{ kcal}$$

$$1 \text{ Cal} = 4,186 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ Termia} = 1.000 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kWh} = 0,868 \text{ Termias} = 868 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo PCI)} = 10.000 \text{ Termias} = 11.600 \text{ kWh PCI}$$

$$1 \text{ °C} = 274,15 \text{ K}$$

$$9,8 \text{ KPa} = 1 \text{ kg/cm}^2$$

$$1\text{N/mm}^2 = 10^3\text{KPa}$$

7. Bibliografía

7.1 Bibliografía consultada

About Hemp. En: hempbuilding [web]. [s.l.]: Steve Allin, 2015 [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.hempbuilding.com/about.shtml>

Abreviaturas utilizadas. Adecuación de la terminología española a la europea. En: Andimat [web] [consulta: 25 enero 2016] Disponible en: <http://www.andimat.es/sobre-aislamiento/conceptos-basicos-del-aislamiento/abreviaturas-utilizadas-adequacion-de-la-terminologia-espanola-a-la-europea>

Armacell. Cuando la humedad pone en peligro el equilibrio de su instalación. Armaflex it – el aislamiento flexible de espuma elastomérica para sistemas de aire acondicionado y refrigeración. En: Armacell Iberia [web] [s.l.]: Armacell, 2001 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <https://l3.cdnwm.com/ip/armacell-iberia-sl-aislamiento-flexible-de-espuma-elastomerica-172545.pdf>

Aislamiento. Eficiencia energética de la edificación en el horizonte 2020 [en línea]. Valencia: AIMPLAS, Instituto Tecnológico del Plástico, nº 42, junio 2012 [consulta 25 junio 2016]. Depósito legal V-667-2000. Disponible en: http://www.aimplas.es/boletin/42/AIMPLASINFO_N42.pdf

Aislamiento térmico: definiciones ordenadas alfabéticamente. En: Andimat [web] Madrid: Andimat [consulta: 5 enero 2016]. Disponible en: <http://www.andimat.es/sobre-aislamiento/conceptos-basicos-del-aislamiento/aislamiento-termico-definiciones-ordenadas-alfabeticamente>

Aislamiento térmico. En: cekesa [web] [s.l.]: cekesa, 2015 [consulta 4 julio 2016] Disponible en: <http://www.cekesa.es/aplicaciones.swf>

Aislamientos- Celulosa a granel. En: Biohaus [web] Navarra: [s.n.], 2012 [Consulta: 15 abril del 2016]. Disponible en: http://www.biohaus.es/productos/celulosa_insufilada.php

Aislamientos ecológicos. *EcoHabitar*. Olba (Teruel): EcoHabitar Visiones sostenibles. 2011, nº 30, pp. 22 - 31. ISSN: 1697-9583.

Aislamientos ecológicos térmicos y acústicos. En: aislayahorra [web] [s.l.]: Aisla y Ahorra, S.L., 2011 [Consulta: 20 febrero del 2016]. Disponible en: <http://aislayahorra.blogspot.com.es/2011/08/aislamientos-ecologicos-termicos-y.html>

Aislamientos e impermeabilizaciones convenientes. En: *EcoHabitar* [web] Olba (Teruel): EcoHabitar Visiones sostenibles, 2012 [Consulta: 23 marzo del 2016]. Disponible en: <http://www.ecohabitar.org/aislamientos-e-impermeabilizacion-convenientes/>

Aislante de celulosa Fabricación [vídeo en línea]. Discovery Chanel, 2009 [consulta: 10 abril 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=HppZc255ZK0>

Aislantes ecológicos. En: *Terra Ecología Práctica* [web] 8 de enero 2008 [consulta: 25 enero 2016] Disponible en: <http://www.terra.org/categorias/articulos/aislantes-ecologicos>

Aislantes ecológicos. Geopanel [vídeo en línea]. Geopanel. Ángel Ruiz, 2015 [consulta: 3 de mayo 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=TcGFngfmV5A>

Bibliografía consultada

ALFÉREZ RIVAS, Luis Ernesto. Selección de un proceso para la producción de tableros aglomerados a base de cascarilla de arroz [en línea] Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano, 2013 [consulta 25 mayo 2016] Disponible en: http://www.academia.edu/5025400/SELECCI%C3%93N_DE_UN_PROCESO_PARA_LA_PRODUCCION_DE_TABLEROS_AGLOMERADOS_A_BASE_DE_CASCARILLA_DE_ARROZ

Algas como aislante para la construcción. En: Cordis, Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo (Comisión Europea) [sitio web]. [S.l.]: [s.n.], 2013 [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: http://cordis.europa.eu/news/rcn/35568_es.html

ÁLVAREZ DE LA CADENA, Silva Jimena, et al. Elaboración de material para la construcción de paredes falsas en interiores con una base de bagazo de caña *Saccharum officinarum* L y estopa de coco *Cocos nucifera* L. En: *XX Concurso Universitario Feria de las Ciencias* [en línea]. Universidad Nacional Autónoma de México, 2012 [consulta: 04 mayo 2016] Disponible en: http://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria20/feria049_01_elaboracion_de_material_para_la_construccion_de_pa.pdf

Amorim. *About insulation cork* [en línea] [S.l.]: Amorim, julio 2015 [consulta: 05 marzo 2016] Disponible en: http://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/About_expanded_insulation_baixa.pdf

Amorim. A arte da cortiça [en línea] [S.l.]: Amorim, agosto 2014 [consulta: 05 marzo 2016] Disponible en: http://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/Brochura_Arte_Cortica_PT_Small.pdf

Anàlisi ambiental dels aïllaments de llana d'ovella i de multifibres fabricats per RMT Recuperación de materiales textiles SA, Informe final [en línea] Barcelona: Societat Orgànica, 2008 [Consulta: 22 marzo 2016] Disponible en: <http://rmt-nita.com/downloads/analisi-ambiental-dels-aïllaments-de-llana-dovella-i-de-multifibres-fabricats-per-RMT-SA.pdf>

ANDUIZA PEREA, Eva, et al. *Citas bibliográficas en prácticas y trabajos*. En: Universidad de Murcia [web] Murcia: Área de Ciencia Política y de la Administración, 2010 [consulta: 4 julio 2016] Disponible en: <http://www.um.es/cpaum/files/recursos/1-F4cc9345d11288254557-rec-2-1.pdf>

Armacell. Cuando la humedad pone en peligro el equilibrio de su instalación. Armaflex it – el aislamiento flexible de espuma elastomérica para sistemas de aire acondicionado y refrigeración. En: Armacell Iberia [web] [s.l.]: Armacell, 2001 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <https://l3.cdnwm.com/ip/armacell-iberia-sl-aislamiento-flexible-de-espuma-elastomerica-172545.pdf>

Armacell. *Información técnica nº11. La permeabilidad al vapor de agua, la permeabilidad y el factor de resistencia* [en línea] Madrid: Armacell, S.A.; 2002 [Consulta: 3 de marzo del 2016] Disponible en: [http://www.armacell.com/WWW/armacell/ACwwwAttach.nsf/ansFiles/000-003-011-E\(E\).pdf/\\$File/000-003-011-E\(E\).pdf](http://www.armacell.com/WWW/armacell/ACwwwAttach.nsf/ansFiles/000-003-011-E(E).pdf/$File/000-003-011-E(E).pdf)

A.R.S.E.C. *Cannabis. Manual de cultivo para el autoconsumo*. Barcelona: Arsec, 2001. ISBN 84-605-6522-X.

Bibliografía consultada

Asepeyo. *Riesgo de exposición a isocianatos* [en línea] España: Asepeyo, Prevención, 2005 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en:

<http://www.ladep.es/ficheros/documentos/HAQ0504012%2520Riesgo%2520de%2520exposici%25C3%25B3n%2520a%2520isocianatos.pdf>

Atepa. *Libro blanco del poliuretano proyectado e inyectado* [en línea] Madrid: AISLA, Asociación de Instaladores de Aislamiento, marzo 2016 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en:

<http://www.atepa.org/PUR.pdf>

Atepa. *Poliuretano proyectado. Gama de productos y sus aplicaciones* [en línea] España: Atepa, 2012 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.atepa.org/pictures/pdf/58.pdf>

BAÑO NIEVA, Antonio, et al. *Guía de construcción sostenible*. Madrid: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), 2005. Depósito legal: M-51636-2005.

BASF. *Poliuretano proyectado. Celda cerrada vs celda abierta. Apariencia similar, prestaciones diferentes* [en línea] Barcelona: BASF, 2013 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en:

<http://www.atepa.org/pictures/pdf/59.pdf>

BASF. *Styrodur. Datos técnicos. Aplicaciones recomendadas* [en línea] Barcelona: BASF, 2015 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en:

http://www2.basf.de/basf2/img/produkte/kunststoffe/styrodur/downloads2/es/styrodur_aplicaciones_recomendadas_y_datos_tecnicos.pdf

BASF. *Styropor. Informaciones técnicas* [en línea] Alemania: BASF, 1998 [consulta: 25 junio 2016] Disponible en:

[https://epsfoamprod.com.sharepoint.com/Documents/Informaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20EPS%20-%20Todo%20lo%20que%20necesita%20saber%20acerca%20de%20la%20producci%C3%B3n%20de%20EPS%20\(Poliestireno%20Expandido\).pdf](https://epsfoamprod.com.sharepoint.com/Documents/Informaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20EPS%20-%20Todo%20lo%20que%20necesita%20saber%20acerca%20de%20la%20producci%C3%B3n%20de%20EPS%20(Poliestireno%20Expandido).pdf)

BCK Barnacork. *Catálogo aislamientos 2012, soluciones naturales para aislamientos térmicos, acústicos y antivibratorios* [en línea] Barcelona: Barnacork, S.L., 2012 [consulta: 05 mayo 2016] Disponible en: <http://www.barnacork.com/11Boris/fileWeb/catalogo-aislamientos-2012.pdf>

BENEDÍ OLIVER, Jesús. *La construcción eficiente energéticamente como necesidad de futuro y su aplicación a un edificio en valencia* [trabajo fin de carrera en línea] M^a Dolores Gómez Benedicto, dir. Universidad Jaume I, Arquitectura Técnica, 2013 [consulta: 15 marzo 2016] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10234/76066>

BERKOWICZ, Michael. *Isolation naturelle: une solution en plein essor. La laine de plume* [web]. [s.l.]: futura-sciences, 7 de noviembre 2009 [consulta: 30 abril 2016] Disponible en: <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dossiers/d/maison-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/page/5/>

BERKOWICZ, Michael. *Isolation naturelle: une solution en plein essor. Le verre cellulaire* [web]. [s.l.]: futura-sciences, 7 de noviembre 2009 [consulta: 7 junio 2016] Disponible en: <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dossiers/d/maison-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/page/9/>

Bibliografía consultada

BERKOWICZ, Michel. *La ouate de cellulose*. En: futura-sciences [web] [S.l.]: [sn.] [ca. 2015] [Consulta: 16 abril de 2016] Disponible en: <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dossiers/d/maison-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/page/12/>

BERKOWICZ, Michel. *L'argile expansée*. En: futura-sciences [web] [S.l.]: [sn.] [ca. 2015] [Consulta: 19 mayo de 2016] Disponible en: <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dossiers/d/maison-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/page/7/>

BOE. Real Decreto 842/2013, de 31 de octubre, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego. Madrid: BOE, 2013

BONNIOT, Nicolas. Lanas minerales. *EcoHabitar*. Olba (Teruel), 2011, nº31, págs. 38 y 39. ISSN 1697-9583

BOSSE-PLATIÈRE, Antoine. Laines de verre ou de roche et santé. En: *terre vivante, l'écologie pratique* [web] [S.l.]: [s.n.], 2015 [Consulta: 31 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.terrevivante.org/473-laines-de-verre-ou-de-roche-et-sante.htm>

BRÜMMER, Mónica. El cáñamo en la construcción: antecedentes, materiales y técnicas. *EcoConstrucción: revista de construcción sostenible* [en línea]. Las Matas (Madrid): Omimedia, mayo 2015, nº42 [consulta: 26 marzo 2016] Disponible en: <http://www.ecohouses.es/wp-content/uploads/2015/06/el-canamo-en-la-construccion.pdf>

Bruselas. *Recomendaciones de la comisión de 19 de septiembre de 2003 relativa a la lista europea de enfermedades profesionales*. [En línea] Bruselas: CE, 25 de septiembre de 2003 [consulta: 6 de junio de 2016] Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2003/238/L00028-00034.pdf>

BÜHL, Gisela. Typhahouse muestra los paneles de aislamiento que vienen de los pantanos. *Ecoconstrucción, revista de construcción sostenible* [en línea]. Madrid, 2015 [consulta 12 abril 2016]. Disponible en: <http://www.ecoconstruccion.net/noticias/typhahouse-muestra-los-paneles-de-aislamiento-que-vienen-de-los-pantanos-5O4cx>

Características físicas de la perlita. En: Perlite [web] EEUU: Perlite Institute, Inc. 2011[Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <https://perlite.org/espanol/PDFs/Caracteristicas-Perlita.pdf>

CE. *Recomendación de la Comisión, de 19 de septiembre de 2003, relativa a la lista europea de enfermedades profesionales*. [En línea] Bruselas: CE, 2003 [consulta: 6 de junio de 2016] Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003H0670:ES:HTML>

CHÁVEZ HERNÁNDEZ, Pedro Eduardo et al. *Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de aislantes térmicos fabricados con polvo de la estopa de coco* [trabajo fin de grado en línea]. Leyla Marina JIMÉNZ MONROY, directora. Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería mecánica, 2008 [consulta: 17 abril 2016]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/1773/>

ChovA. *Catálogo general de productos* [en línea] Valencia: ChovA, 2016 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: <http://chova.com/documentacion/catalogos/catalogo-general.pdf>

Clasificación de la madera [en línea]. European Commission [consulta 6 maio 2016]. Disponible en: http://www.exporthelp.europa.eu/thdapp/display.htm?page=re/re_ClassifyingWood.html&docType=main&languageId=EN&newLanguageId=ES

Bibliografía consultada

Clasificación de sustancias cancerígenas. En: AECC, contra el cáncer [web] Madrid: [s.n.] 5 de agosto 2015 [consulta: 25 mayo 2016] Disponible en: <https://www.aecc.es/SOBREELCANCER/PREVENCIÓN/SUSTANCIASCANCERIGENAS/Paginas/clasificaci%20desustanciascancerigenas.aspx>

Colaboradores de Wikipedia, 2015. Somateria mollissima. En: Wikipedia, la enciclopedia libre [en línea] actualización 16 marzo 2015 [consulta: 13 junio 2016]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Somateria_mollissima

Colaboradores de Wikipedia, 2016. Poliuretano. En: Wikipedia, *la enciclopedia libre* [en línea] actualización 26 de mayo de 2016 [consulta: 13 junio de 2016]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Poliuretano>

Comparing residential insulation types. *Naima* [web] Alexandria (Washington): North American Insulation Manufacturers Association, 2016 [consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en: <http://insulationinstitute.org/im-a-building-or-facility-professional/residential/health-safety/>

Composición y producción del poliuretano. En: polyrethanes [web] [S.I.]: ISOPA, 2016 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.polyurethanes.org/es/other-2/acerca-de-esta-pagina-web>

Comunidad Valenciana. *Cuadernos de rehabilitación*. España: IVE, Instituto Valenciano de la Edificación, 2011 [consulta: 2 febrero del 2016] Disponible en: http://www.five.es/descargas/archivos/P1_portada.pdf

Conoce los aislantes ecológicos. En: EcoHouses [web] Girona: Ecohouses, [consulta: 2 febrero del 2016] Disponible en: <http://www.ecohouses.es/conoce-los-aislantes-ecologicos/>

Consellería de traballo e benestar (España). A nova etiqueta dos produtos químicos perigosos é xa obrigatoria para as substancias dende o 1 de decembro de 2010 [En línea] Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2014 [Consulta: 2 junio del 2016] Disponible en: http://issga.xunta.es/export/sites/default/recursos/descargas/documentacion/publicacions/documento_informativo_nova_etiqueta.pdf

Construcción con cáñamo. En: EcoHabitar [web]. Olba, Teruel: [s.n.], 2012 [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.ecohabitar.org/construccion-con-canamo/>

COSTA, Nelson. Environmental Product Declaration – Type III, 2010. [Aveiro]: Argex – Argila Expandida, SA [consulta 19 mayo 2016] [correo electrónico]

CUIÑAS CONDE, José. *Fungi-insulated. Aislamiento con hongos*. En: slideshare [web] A Coruña: ETSAC, 2015 [Consulta 14 marzo 2016] Disponible en: <http://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/aislamiento-de-hongos>

DANOSA. *Aislamiento térmico XPS. DANOPREN TR. Ficha técnica* [en línea] Guadalajara: DANOSA, 2016 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: file:///C:/Users/Vero/Downloads/484003_ftecnica_1_1.pdf

DANOSA. *Tarifa de precios. Abril 2016* [en línea] Guadalajara: DANOSA, 2016 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: <file:///C:/Users/Vero/Downloads/DANOSA-descTarifa-DESC-1.pdf>

Bibliografía consultada

DEL SAZ-OROZCO RODRÍGUEZ, Belén. *Formulación y caracterización de espumas fenólicas tipo resol reforzadas con lignosulfonato cálcico y con partículas de "pinus radiata"* [tesis doctoral en línea] Mercedes Oliet Palá y María Virginia Alonso Rubio, dir. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Químicas, 2013 [consulta: 16 junio 2016] Disponible en: <http://eprints.sim.ucm.es/23809/1/T34964.pdf>

Der Rohstoff. En: Neptutherm [sitio web]. [S.l.]: [s.n.], 2012 [Consulta: 13 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.neptutherm.com/phpwcms/index.php?rohstoff>

Descripción y propiedades del XPS. En: AIPEX [web] Barcelona: AIPEX, 2011 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: http://www.aipex.es/poli_desc_es.php?s=5#

Diseño de prototipos de materiales biosintéticos para su uso como materiales de construcción [en línea]. Madrid: Fundación Mapfre, Seguridad y Medio Ambiente, 2013 [Consulta 14 marzo 2016]. ISSN: 1888-5438. Disponible en: <http://www.seguridadypromociondelasalud.com/n132/docs/Seguridad-y-Medio-Ambiente-132-es.pdf>

Dossier isolation naturelle [web] 16 noviembre [consulta: febrero a junio de 2016] Disponible en: <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/actu/d/maison-dossier-isolation-naturelle-laine-mouton-chanvre-21394/>

Draper, Peter. *Comparison of natural insulations* [en línea]. [S.l.: s.n.], 2008 [consulta: 19 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.sustainablebuildingresource.co.uk/files/serve/files/1503/8fcb7c07791983996701f58577cf78406b722d4/>

EcoHabitar. Bioconstrucción. Paneles de balas de paja prefabricados para la construcción. *EcoHabitar*. Teruel 2011, nº31, pág. 10 ISSN 1697-9583

EcoTejados. La importancia de los aislantes térmicos En: *EcoTejados* [web] Cabretón (La Rioja): EcoTejados, 2013 [consulta: 18 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.ecotejados.com/aislantes-termicos-acusticos-bioclimaticos.htm>

El algodón: documental completo [vídeo en línea]. CienciasEducativas S.A., 2013 [consulta: 3 de mayo 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=TP7-KDx7vg4>

El cáñamo. En: Alsativa Sociedad Cooperativa [web], Andalucía: [s.n.], [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.alsativa.es/canamo.html>

El cáñamo en la construcción. En: Ecohouses, feel different [web], Girona: [s.n.], 2014 [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.ecohouses.es/el-canamo-en-la-construccion/>

El corcho: material sostenible en al rehabilitación energética de edificios. En: certificados energéticos [web] [s.l.]: [s.n.], 2014 [consulta: 10 marzo 2016] Disponible en: <http://www.certificadosenergeticos.com/corcho-material-sostenible-rehabilitacion-energetica-edificios>

El formaldehído. En: Terra, ecología práctica [web] Barcelona: [s.n.], 2005 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <http://www.terra.org/categorias/articulos/el-formaldehido>

Bibliografía consultada

Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid. *Espuma de poliuretano: uso como aislante industrial*. En: UVA [web] Valladolid: [s.n.] 2006 [consulta: 13 junio de 2016]. Disponible en: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pu/espuma.htm>

Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid. *Problemas medioambientales del poliuretano*. En: UVA [web] Valladolid: [s.n.] 2004 [consulta: 13 junio de 2016]. Disponible en: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/PU/poliuretano.htm>

España. Fichas Internacionales de Seguridad Química. *Ministerio de Trabajo e Inmigración*, 2016 [correo electrónico] [Consulta: 2 junio del 2016]

España. Resolución de 31 de mayo de 1984 de la Dirección General de Arquitectura y Vivienda, por la que se aprueba el complemento a las disposiciones reguladoras del Sello INCE para materiales aislantes térmicos, referentes a las “espumas de urea-formol producidas insitu”. En: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 1984 [consulta 15 junio 2016] Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/1984/07/03/pdfs/A19415-19418.pdf>

España. UNE-EN ISO 7345-1996 Aislamiento térmico. Magnitudes físicas y definiciones. Aenor 1996.

España. UNE-EN ISO 9229-2011 *Aislamiento térmico. Vocabulario*. Aenor 2011.

España. UNE-EN ISO 9251-1996 *Aislamiento térmico. Condiciones de transmisión térmica y propiedades de los materiales. Vocabulario*. Aenor 1996.

España. UNE-EN ISO 10456-2012 Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño. Aenor 2012.

España. UNE-EN ISO 14040-2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. Aenor 2006.

España. UNE-EN 12524-2000 Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores de diseño tabulados. Aenor 2000.

España. UNE-EN 13162-2015 Productos aislantes térmicos para aplicación en la edificación. Productos manufacturados de lana mineral (MW). Especificación. Aenor 2013.

España. UNE-EN 13163:2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno expandido (EPS). Especificación. Aenor 2015.

España. UNE-EN 13164:2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno extruido (XPS). Especificación. Aenor 2015.

España. UNE-EN 13166-2015 Productos aislantes térmicos para aplicación en la edificación. Productos manufacturados de espuma fenólica (PF). Especificación. Aenor 2013.

España. UNE-EN 13169-2015 Productos aislantes térmicos para aplicación en la edificación. Productos manufacturados de perlita expandida (EPB). Especificación. Aenor 2013.

España. UNE-EN 13171-2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de fibra de madera (WF). Especificación. Aenor 2015.

Bibliografía consultada

España. UNE-EN 13168-2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana de madera (WW). Especificación. Aenor 2015.

España. UNE-EN 14044-2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices. Aenor 2006.

España. UNE-EN 14046-2015 Gestión ambiental. Huella del agua. Principios, requisitos y directrices. Aenor 2015.

España. UNE-EN 14303-2013 Productos aislantes térmicos para equipos en edificación e instalaciones industriales. Productos manufacturados de lana mineral (MW). Especificación. Aenor 2010.

España. UNE-EN 14309:2011 Productos aislantes térmicos para equipos en edificación e instalaciones industriales. Productos manufacturados de poliestireno expandido (EPS). Especificación. Aenor 2013.

España. UNE-EN 14313-2011 Productos aislantes térmicos para equipos en edificación e instalaciones industriales. Productos manufacturados de espuma de polietileno (PEF). Especificación. Aenor 2013.

España. UNE-EN 316-2009 Tableros de fibras, definición, clasificación y símbolos. Aenor 2009.

Espuma aislante: los peligros del formaldehído. En: sites.google [web] [s.l.]: [s.n.], 2010 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/espumaaislante/los-peligros-del-formaldehido-1>

Espuma de madera, un aislante eficiente y amigable con el medio ambiente [en línea]. Ecosectores, 2014 [consulta 8 mayo 2016]. Disponible en: <https://ecosectores.com/DetalleArticulo/tabid/64/ArticleId/1409/Espuma-de-madera-un-aislante-eficiente-y-amigable-con-el-medio-ambiente.aspx>

Eurima. *Environmental Product Declaration of Mineral Wool Produced in Europe* [en línea]: Eurima. 16 abril de 2012 [consulta: 26 mayo 2016] Disponible en: <http://www.eurima.org/uploads/ModuleXtender/Publications/97/Eurima EPD Wall 035 final.pdf>

Eurima. *Mineral Wool Putting natural resources to work for the benefit of our planet* [en línea]: Eurima. 15 marzo de 2013 [consulta: 31 mayo 2016] Disponible en: <http://www.eurima.org/flipbook/mineralwool/index.html#/18/>

Fabricación del EPS. En: empoline [web] Madrid: Empoline, 2012 [Consulta: 25 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.empolime.com/fabricacion-poliestireno-expandido.htm>

Fabricación de las placas de EPS [vídeo en línea]. REVCOSpain, 2013 [consulta: 25 junio 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=HhIW7Kn7U9U>

FARRE, José, RMT. *Información sobre nuestros aislantes sostenibles RMT-NITA* [mensaje electrónico]. 31 marzo 2016.

Federación Internacional de Trabajadores de las Industrias Metalúrgicas (FITIM). *Cáncer profesional / cáncer cero. Guía sindical para la prevención*. Ginebra: Tabergs Tryckeri AB, 2007 [consulta: 25 mayo 2016] Disponible en: <http://www.bwint.org/pdfs/CancerCeroSp.pdf>

Bibliografía consultada

Fibran XPS. Catálogo de producto. Poliestireno extruido, aislamiento térmico FIBRANxps [en línea] Ovar, Portugal: Fibran XPS, 2015 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: http://fibran.com.es/files4users/files/CatFIBRAN%20ES_2015.pdf

Fibran XPS. *Fibran XPS ETICS GF. Ficha técnica* [en línea] Ovar, Portugal: Fibran XPS, 2015 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: http://fibran.com.es/files4users/files/TDS/1_ES/14_ETICS%20GF_ES_20062015.pdf

Fibran XPS. *Fibran XPS MAESTRO. Ficha técnica* [en línea] Ovar, Portugal: Fibran XPS, 2015 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: http://fibran.com.es/files4users/files/TDS/1_ES/11_MAESTRO%20ES_20062015.pdf

Fibres de chanvre. En: Le Chanvre, un produit d'exception [web], Francia: Le Chanvre, 2012 [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.chanvre.oxatis.com/PBCPPlayer.asp?ID=151416>

Fiche Materiau LA PAILLE (ficha técnica) [web]. ARPE Agenc régionale du développement durable [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: https://www.arpe-mip.com/files/EXPO_ECOMAT2008/MA15_fiche_materiau_paille.pdf

FLORES, Ángel. *Aislamiento térmico, tipos y recomendaciones*. En: grupoUnamacor [sitio web]. Córdoba: Grupo Unamacor, S.L., 2011 [consulta: 1 junio del 2016] Disponible en: <http://www.grupounamacor.com/?p=1147>

Foamglas. *Environmental Product Declaration according to ISO 14025* [en línea] Alemania: Deutsches Institut Bauen und Umwelt e.V. (DIBU), 2013 [consulta: 7 junio 2016] Disponible en: http://www.foamglas.es/_frontend/handler/document.php?id=2424&type=42

Foamglas Thermal Insulation [vídeo en línea]. Foamglas, 2012 [consulta: 7 junio 2016]. Disponible en Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=lummv_v5zi0

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (Fenercom). *Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética*. Madrid: Fenercom, 2012 [consulta: 6 junio del 2016] Disponible en: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-materiales-aislantes-y-eficiencia-energetica-fenercom-2012.pdf>

GALINDO, Cristina. El reciclaje de la ropa que ya no queremos. *El País* [en línea]. Madrid: El País, 2015 [consulta: 3 mayo 2016] Disponible en: http://elpais.com/elpais/2015/05/27/eps/1432747889_504221.html

GALINDO, Marián. Aislamientos naturales: lana de oveja [web] Castellón de la Plana: GMG arquitectos, 2016 [Consulta: 25 marzo 2016]. Disponible en: <http://ecoemas.com/aislamientos-naturales-lana-de-oveja/>

GARRAÍN, Daniel; et al. *Impacto medioambiental sobre el uso del suelo de las minas de extracción de materias primas cerámicas en el marco del análisis del ciclo de vida* [en línea] Grupo de Ingeniería del Diseño, Dpto. Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I. Disponible en: <http://www.gid.uji.es/sites/default/files/congresos/2010/Impacto%20medioambiental%20sobre%20el%20uso%20del%20suelo%20de%20las%20minas%20de%20extraccion%20de%20materias%20primas%20ceramica%20en%20el%20marco%20del%20analisis%20del%20ciclo%20de%20vida.pdf>

Bibliografía consultada

GEOPANNEL. *El aislante ecológico d altas prestaciones. Catálogo oficial* [en línea] Logroño:

GEOPANNEL, 2014 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en:

<http://www.geopannel.com/pdf/Geopannel-Catalogue-2014.pdf>

GISBERT ALEMANY, Ester. La toxicidad de la fibra de vidrio. En: COR & Asociados y aRRsa. Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.]: [s.n.] [ca. 2015] [Consulta: 26 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/la-toxicidad-de-la-fibra-de-vidrio/>

GONZÁLEZ, Penélope. Poliestireno Extruido (XPS). En: Fenercom [web] Barcelona: Aipex, 2012

[consulta: 27 junio 2016] Disponible en: <http://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/12-10-04>

[Jornada%20sobre%20Materiales%20Aislantes%20y%20Eficiencia%20Energ%C3%A9tica%20en%20los%20Edificios/Poliestireno-extruido-AIPEX-fenercom-2012](http://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/12-10-04)

Grupo PV. *Tarifa 2015*. En: Perlita y vermiculita [web] Barcelona: Perlita y vermiculita, 2015[Consulta 6 de junio de 2016]. Disponible en:

<http://www.perlitayvermiculita.com/resources/tarifasycatalogo/TARIFARIO%20Grupo%20PV%202015.pdf>

Grupo temático de los Hongos. Concepto del grupo y diversidad. Estudio de la división Eumicota. Los hongos saprófitos, parásitos y simbióticos su papel en los ecosistemas [en línea]. Granada:

Universidad de Granda [Consulta 14 marzo 2016] Disponible en:

<http://www.ugr.es/~mcasares/Utilidades/Hongos.htm>

Guía del exportador de algodón [en línea] Ginebra: Centro de Comercio Internacional, 2015

[consulta: 3 mayo 2016] Disponible en: <http://www.guiadealgodon.org/>

Guía micológica [en línea]. Soria: Asociación micológica El Royo, 2010 [Consulta 14 marzo 2016]

Disponible en: http://www.amanitacesarea.com/guia_ecologia3.html

GÜNTHER, Stephan. Schilf - ökologisch und ökonomisch eine sehr gute Dämmung. En: energieheld.

Einfach energetisch sanieren. [web] [S.l.:sn.] [Consulta: 22 de mayo de 2016] Disponible en:

<http://www.energieheld.de/daemmung/daemmstoffe/schilf>

Historia del poliuretano. En: polyurethanes [web] [S.l.]: ISOPA, 2016 [Consulta 13 de junio de 2016].

Disponible en: <http://www.polyurethanes.org/es/que-es/historia>

Hoja informativa sobre sostenibilidad del Instituto de la Perlita. En: Perlite [web] EEUU: Perlite

Institute, Inc. 2011[Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en:

<https://perlite.org/espanol/PDFs/HechosSostenibilidad-Perlite.pdf>

Homatherm. *Price list 2016. For export worldwide* [en línea] Alemania: Homatherm, 2016 [consulta

15 abril 2016]. Disponible en: [http://www.homatherm.com/wp-](http://www.homatherm.com/wp-content/uploads/downloads/en/Preisliste.pdf)

[content/uploads/downloads/en/Preisliste.pdf](http://www.homatherm.com/wp-content/uploads/downloads/en/Preisliste.pdf)

IANNONE LADO, Sandro. *Tipos y usos de los aislantes térmicos* [trabajo fin de carrera] Adelino Soler Ageitos, dir. Universidade de A Coruña, Arquitectura Técnica, 2013.

Bibliografía consultada

IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Soluciones de aislamiento con espumas flexibles. En: IDAE [web] Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2012 [Consulta 20 de junio de 2016]. Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10828_SolucionesAislamientoEspumasFlexibles_A2008_A_a2a58218.pdf

IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. *Guías sectoriales de ecodiseño. Materiales de construcción*. Bilbao: IHOBE, 2010 [Consulta: 4 febrero de 2016] Disponible en: <http://www.caminospaisvasco.com/Profesion/documentostecnicos/materialesdeconstruccion>

Impacto de los materiales de construcción, análisis del ciclo de vida. *EcoHabitar* [en línea] Olba (Teruel): EcoHabitar Visiones sostenibles, 2014 [consulta: 7 enero 2016]. Disponible en: <http://www.ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/>

Informe sobre fachadas y reacción al fuego de los materiales aislantes. En: Andimat [web] Madrid: Andimat, enero 2016_[consulta: 11 julio 2016]. Disponible en: <http://www.andimat.es/wp-content/uploads/Informe-sobre-fachadas-y-reacci%C3%B3n-al-fuego-de-los-materiales-aislantes-2016.pdf>

Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo (España). *Ficha técnica polímero base. Poliuretanos* [en línea] España: INSHT, 2007 [consulta: 13 junio 2016]

Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo (España). Regulación UE sobre productos químicos (II). Reglamento CLP: aspectos básicos. *Normas técnicas de prevención* [en línea] Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2011 [Consulta: 2 junio del 2016] Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/821a921/878w.pdf>

Instituto Valenciano de la edificación. *Base de datos de la construcción IVE 2015* [en línea] Professional Software, 2014 [Consulta: durante el desarrollo del trabajo] Disponible en: <http://www.five.es/basedatos/Visualizador/Base15/index.htm>

IPUR. *Influencia del contenido de celda cerrada en las propiedades del poliuretano proyectado* [en línea] IPUR, Asociación de la Industria del Poliuretano Rígido, 2011. [Consulta: 13 junio del 2016]. Disponible en: <http://www.atepa.org/pictures/pdf/16.pdf>

ISOVER. *Declaraciones Ambientales de Producto. Aislamiento Sostenible*. 2ª Edición [web] Madrid: ISOVER, 2015 [consulta 10 febrero 2016] Disponible en: <https://www.isover.es/sites/isover.es/files/assets/documents/dap-oct-2015.pdf>

Isover Saint-Gobain. *Catálogo de elementos constructivos ISOVER para la Edificación (según CTE)*. Guadalajara: Saint-Gobain Cristalería, S.L. - ISOVER, 2013

ITeC. *Banco de datos Bedec* [en línea] Versión 33, 2016 [Consulta: durante el desarrollo del trabajo] Disponible en: <http://itec.es/nouBedec.e/bedec.aspx>

ITEC. Documento de Idoneidad Técnica Europeo. NITA-COTON-FRP [en línea] Barcelona: ITEC – Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña, 2013 [consulta: 3 mayo 2016] Disponible en: http://itec.cat/certificacion/files/dite_10_0311_18_6_2013.pdf

Bibliografía consultada

Lana [en línea] Universidad Nacional Ingeniería UNI, 2010 [S.l.:sn.] [Consulta: 22 marzo 2016]
Disponible en: <http://es.slideshare.net/256yaroti/monografia-lana-final-xd>

Laterlite. *Laterlite soluciones ligeras. Arcilla expandida y premezclados* [en línea]: Laterlite. 21 junio de 2013 [consulta: 21 mayo 2016] Disponible en: http://amadosalvador.es/wp-content/uploads/downloads/2014/11/Laterlite_cat%C3%A1logo_general.pdf

Laterlite. *Producción* [web], 2015 [Italia]: Laterlite [consulta: 19 mayo 2016] Disponible en: <http://www.laterlite.es/produccion-2/>

La densidad de la “Posidonia” del Mediterráneo podría disminuir un 90% a mediados de siglo [sitio web]. [S.l.]: [s.n.], 2012 [Consulta: 15 abril del 2016]. Disponible en: http://www.csic.es/web/guest/noticias-y-multimedia?p_p_id=contentviewerservice_WAR_alfresco_packportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&contentviewerservice_WAR_alfresco_packportlet_struts_action=%2Fcontentviewer%2Fview&contentviewerservice_WAR_alfresco_packportlet_nodeRef=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2F0e2fb4db-2973-4f2d-b835-dfaa093be0c2&contentviewerservice_WAR_alfresco_packportlet_gsa_index=false&contentviewer_service_WAR_alfresco_packportlet_title=noticias&contentType=news

La fibra de celulosa como aislante en la construcción. En: SlideShare [web] A Coruña: ETSAC, 2013 [Consulta: 15 abril del 2016]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/FerminBlanco/celulosa-como-aislante-en-la-construccion>

La planta. En: DENETER, Centro de conservación genética de *Cannabis sativa* L. y subespecies [web], España: [s.n.], 2012 [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: http://www.demeter.org.es/cms/doku.php?id=es:planta_can

Las algas pueden ser un buen aislante térmico para edificios. *Energium* [en línea] Madrid: Energium, 2013 [Consulta: 28 marzo del 2016]. Disponible en: <http://energium.es/las-algas-pueden-ser-un-buen-aislante-termico-para-edificios/>

Las algas, un aislante ecológico en edificios inteligentes. *EcoHabitar* [en línea] Olba (Teruel): EcoHabitar Visiones sostenibles, 2016 [Consulta: 28 marzo del 2016]. Disponible en: <http://www.ecohabitar.org/las-algas-un-aislante-ecologico-en-edificios-inteligentes/>

Leonardo da Vinci Partnership Project. Wood Constructions and Energy Efficiency in Vocational Training. *Global Comparison of Insulation Materials* [en línea] [s.l.]: Lifelon Learning Programme, 2015 [consulta: 19 de marzo de 2016] Disponible en: <https://woodergy.files.wordpress.com/2014/04/study-global-comparison-insulation-materials-kbs.pdf>

Libro Blanco del EPS. Documento de Antecedentes para la Normalización Europea del EPS. En: ANAPE, Asociación Nacional de Poliestireno Expandido. Bélgica: EUMEPS, 2003 [consulta: 25 junio 2016] Disponible en: <http://www.anape.es/pdf/Libroblanco.pdf>

Life Reusing Posidonia Project. *Program Life (European Commission)* [en línea] [s.l.]: [s.n.], 2013 [consulta: 28 de marzo de 2016] Disponible en: <http://reusingposidonia.com/>

Bibliografía consultada

Logrotex. *Catálogo de aislantes*. Logroño: Logrotex, 2012 [Consulta: 25 febrero de 2016] Disponible en: <http://www.logrotex.com/files/descargas/catalogo-aislantes-es.pdf>

Logrotex. Isolgreen Cotton [en línea] Barcelona: Logrotex, 2012 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.logrotex.com/files/descargas/FT-ISOLGREEN-COTTON.pdf>

MANZANERO, Javier. El corcho, los paneles de corcho y sus ventajas. En: ecoesmas [web] [s.l.]: [s.n.], 2014 [consulta: 10 marzo 2016] Disponible en: <http://ecoesmas.com/el-corcho-los-paneles-de-corcho-y-sus-ventajas/>

Materiales aislantes. Algodón [en línea]. EcoHabitar, 2005 [consulta 3 mayo 2016]. Disponible en: http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2011/12/ficha_algodon.pdf

Materiales aislantes. Cáñamo [en línea]. EcoHabitar, 2005 [consulta 10 abril 2016]. Disponible en: http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2011/12/ficha_canamo.pdf

Materiales aislantes. Celulosa [en línea]. EcoHabitar, 2005 [consulta 15 abril 2016]. Disponible en: http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2012/01/ficha_celulosa.pdf

Materiales aislantes y sus ciclos de vida. En: ISOVER [web] [s.l.]: [s.n.], 2016 [Consulta: 2 marzo del 2016] Disponible en: <http://www.isover.es/ISOVER-y-la-Sostenibilidad/Materiales-aislantes-y-sus-ciclos-de-vida>

Materiales poliméricos y compuestos. En: Universidad de Oviedo [web] Oviedo: Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales, 2012 [Consulta 20 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T8.1-MPyC.Tema8.MaterialesPolimericosInteresIndustrial.pdf>

M.D., Jaime Gutiérrez, et al. Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces cerevidiae*. *Revista de la sociedad brasileña de ciencias mecánicas e ingeniería*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 2014, vol.81, no.184. ISSN 0012-7353

MEGAPLASTIC. *Manual de no tejidos. Clasificación, identificación y aplicaciones* [en línea]. Buenos Aires: ABINT, 2012 [consulta: 3 mayo 2016] Disponible en: http://www.academia.edu/7127851/Informaci%C3%B3n_t%C3%A9cnica_Non-woven_Manual_de

MENA, Javier de. Materiales aislantes fabricados con productos reciclados. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2014] [consulta: 14 de febrero de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/materiales-aislantes-fabricados-con-productos-recicladoss/>

MENA, Javier de. Materiales de rápida renovación para la construcción. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2014] [consulta: 7 marzo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/materiales-de-rapida-renovacion-para-la-construccion/>

MENA, Javier de. ¿Qué materiales aislantes ahorran más energía a lo largo de su vida? En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2014] [consulta: 18 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/que-materiales-aislantes-ahorran-mas-energia-a-lo-largo-de-su-vida/>

Bibliografía consultada

MENA, Javier de. ¿Se pueden reciclar los materiales que aíslan nuestros edificios? En: COR & Asociados y aRRsa. Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.: sn.] [ca. 2012] [Consulta: 18 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/se-pueden-reciclar-los-materiales-que-aislan-nuestros-edificios/>

Micelio de hongos para la construcción [vídeo en línea]. Laboratorio de biotecnología de hongos comestibles y medicinales, 2015 [consulta: 14 marzo 2016]. Disponible en: <http://lbhcymcerzos.wix.com/lbhcymcerzos#!Micelio-de-hongos-para-la-construccion%C3%B3n/cay8/2>

Minerales: ¿Para qué sirve la perlita? Los planes de Santa Cruz. En: MiningPress [web] Argentina: D&C Visual S.R.L., 28 de febrero de 2011 [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.miningpress.com/nota/266753>

Ministerio de Asuntos Exteriores de Francia, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. *Compendio de agronomía tropical*. Tomo II. San José, Costa Rica: Ediciones IICA, 1989. ISBN 92-9039-152-9.

Ministerio de Fomento. *CTE DB HE: documento básico ahorro de energía. Con comentarios del Ministerio de Fomento*. Madrid, 2013. 78 pág.

Ministerio de Fomento. *CTE DA DB HE/1: cálculo de parámetros característicos de la envolvente*. Madrid, 2015. 19 pág.

Ministerio de Fomento. *CTE DB SE-M: documento básico seguridad estructural, madera*. Madrid, 2009.

MINKE, Gernot, MAHLKE, Friedemann. *Manual de construcción con fardos de paja*. Editorial Fin de Siglo. ISBN 9974-49-361-7

MONTES FERNÁNDEZ, M^a Arantzazu. *El corcho como material de construcción* [trabajo fin de carrera] Ramón VÁZQUEZ VÁZQUEZ, director. Universidade de A Coruña, Escola Universitaria de Arquitectura Técnica, 2014.

Naima. *Aislantes de lana de roca y escoria* [en línea] EEUU: Naima, North American Insulation Manufacturers Association, 9 de junio del 2011 [Consulta: 31 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.rolan.com/wp-content/uploads/2012/12/naima.pdf>

NATKE, Stefan. Gutex. *¿Qué es Gutex? Historia de la empresa, producción, características de nuestros productos*. Gutex, tableros aislantes de madera [correo electrónico]: 20 mayo de 2016

NATKE, STEFAN. Nuevas técnicas en la fabricación de tableros aislantes de fibra de madera. *Revista EcoHabitar*. Teruel 2011, nº29. ISSN 1697-9583

NITA-HEMP. En: RMT-NITA [web], Barcelona: RMT-NITA [Consulta: 26 marzo del 2016]. Disponible en: <http://rmt-nita.es/esp/hemp.php>

Nuevas técnicas en la fabricación de tableros aislantes de fibra de madera [en línea]. Teruel: revista EcoHabitar, 2012 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.ecohabitar.org/nuevas-tecnicas-en-la-fabricacion-de-tableros-aislantes-de-fibra-de-madera/>

Bibliografía consultada

Nuevas salidas en el reciclaje del poliuretano de las suelas de los zapatos. En: CTR Mediterráneo [web] Castellón: CTR Mediterráneo, 2014 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.ctrmediterraneo.com/nuevas-salidas-en-el-reciclaje-del-poliuretano-de-las-suelas-de-los-zapatos/>

Nuevo proceso: *Fabricación en seco*. En: Biohaus [web]. Navarra: Biohaus, 2015 [consulta 8 mayo 2016]. Disponible en: http://www.biohaus.es/productos/gutex.php#tec_1

ONU. *Lista consolidada de productos cuyo consumo o venta han sido prohibidos, retirados, sometidos a restricciones rigurosas o no han sido aprobados por los gobiernos. Productos farmacéuticos*. 8ª edición. Nueva York: ONU, 2006. ISBN: 92-1-330179-0

Ouate de cellulose: faut-il avoir peur du sel de bore? En: *consoGlobe, consommer mieux-vivre mieux* [web] [s.l.]: [s.n.], 2012 [Consulta: 15 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.consoglobe.com/ouate-de-cellulose-faut-il-avoir-peur-du-sel-de-bore-cg>

Panneau de Paille compressée [web]. Neuvy-Pailloux (Francia): pôleeco construction Limousin [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.crma-limousin.fr/portals/66/basedoc/Environnement/PANNEAU DE PAILLE COMPRESSEE.pdf>

PASTOR JUAN, Alfonso. *Dossier: Aislantes térmicos en la edificación. Materiales. Exigencias normativas. Directorios*. Alicante: Stampa Edición Digital, S.L. 2012, 72p. ISBN 978-84-938147-2-4

Pavatex. *Aislar con Pavatex* [en línea] [S.l.]: Pavatex, 2009 [consulta: 5 mayo 2016] Disponible en: http://www.ecospai.com/fichas_tecnicas/pavatex_general.pdf

Perfeito por natureza. En: Amorim [web] Portugal: [s.n.], 2015 [consulta: 10 marzo 2016] Disponible en: <http://www.amorimcork.com/pt/natural-cork/raw-material-and-production-process/>

Perfil de mercado de la diatomita [en línea] México: Coordinación General de Minería, 2013 [Consulta 4 julio 2016] Disponible en: http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_diatomita_1013.pdf

Perlita para la construcción y otros usos. En: cita.es [web] [S.l.]: [s.n.] 2010 [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <http://cita.es/perlita/>

Phragmites australis. *Wikipedia: la enciclopedia libre* [en línea] 4 enero 2016 [consulta: 22 mayo 2016]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Phragmites_australis

Plásticos, materias primas. En: Universidad de Oviedo [web] Oviedo: Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales, 2004 [Consulta 20 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion8.PLASTICOS.MateriasPrimas.pdf>

Polipropileno. En: general-aislante [web] [s.l.]: [s.n.], [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <http://www.general-aislante.com.ar/poliprop.htm#cara>

Polipropileno. En: Tecnología de los plásticos [web] [s.l.]: [s.n.], 2011 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/06/polipropileno.html>

Bibliografía consultada

Poliuretano proyectado [vídeo en línea]. Polypur, 2011 [consulta: 12 junio 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=8AvwOwpW8bE>

¿Por qué la Perlita funciona? En: Perlite [web] EEUU: Perlite Institute, Inc. 2011[Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <https://perlite.org/espanol/PDFs/Funciona-Perlita.pdf>

Posidonia oceánica como aislante en viviendas protegidas en Formentera. *EcoHabitat* [en línea] Olba (Teruel): EcoHabitat Visiones sostenibles, 2014 [Consulta: 12 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.ecohabitat.org/posidonia-oceanica-como-aislante-en-viviendas-protegidas-en-formentera/>

Proceso de fabricación aislante de lino. En: futura-sciences[web] [s.l.]: [s.n.] [Consulta: 3 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dossiers/d/maison-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/page/15/>

Producción corcho expandido Aglocork Térmico [vídeo en línea]. Banacork, 2012 [consulta: 7 marzo 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=dUpq2olxubg>

Producción de espuma de poliuretano espumas medellin S.A. [vídeo en línea]. Espumas Medellín, S.A., 2010 [consulta: 12 junio 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=DRBFo3kxy4s>

Producción de prefabricados de paja en serie [web] Valencia: Okambuva Coop., 2015 [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: <http://casadepaja.es/produccion-de-prefabricados-de-paja-en-serie/>

Producción espuma poliuretano En: Trepol, S.A. [web] Toledo, 2016 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: http://www.tepolsa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=2

Producción / fabricación. En: Foamglas [web] España: Foamglas building [consulta: 7 junio 2016] Disponible en: <http://www.foamglas.es/es/productos/produccionfabricacion/>

Producción process. *Eurima* [web] Bruselas: European Insulation Manufactures Association, 2011 [consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process.html>

Producto. En: ANAPE [web] Madrid: ANAPE, 2012 [Consulta: 25 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.anape.es/index.php?accion=producto>

PU europe, excellence in insulation. *Aislamiento de poliuretano y gestión de residuos en el contexto de la eficiencia de los recursos* [en línea] PU europe, excellence in insulation, 2013 [Consulta: 13 junio del 2016]. Disponible en: <http://www.atempa.org/pictures/pdf/66.pdf>

Que es bala box [web] Madrid: BalaBox, 2016 [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: <http://bala-box.com/los-bloques/>

¿Qué es el corcho? En: BCK Banacork [web] Barcelona: [s.n.] ,2014 [consulta: 10 marzo 2016] Disponible en: <http://www.barnacork.com/el-corcho/ique-es-el-corcho.html>

¿Qué es el Poliestireno? En: Molduras [web] Huelva: [s.n.] [consulta: 25 junio 2016]. Disponible en: <http://www.molduras.es/contents/es/d78.html>

Bibliografía consultada

Qué son - propiedades. *Afelma* [web] Madrid: Asociación de Fabricantes Españoles de Lanas Minerales Aislantes, 2015 [consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en: http://aislar.com/?page_id=2431

Reciclado químico. En: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Valladolid [web] Valladolid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales [consulta: 26 junio 2016]. Disponible en: http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_quimico.htm

Reciclado mecánico. En: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Valladolid [web] Valladolid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales [consulta: 26 junio 2016]. Disponible en: http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm

Reciclado energético. En: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Valladolid [web] Valladolid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales [consulta: 26 junio 2016]. Disponible en: http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_energetico.htm

Recuperación y reciclaje de fosfatos. En: *Datos de fosfato* [web], Atlanta (Georgia): Foro de Fosfato de las Américas [Consulta: 25 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.datosdefosfatos.org/resource.asp>

Resinas melamina-formaldehído (MF). En: Tecnología de los plásticos [web] [s.l.]: [s.n.], 2012 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2012/11/resinas-melamina-formaldehido-mf.html>

Resinas urea-formaldehído (UF). En: Tecnología de los plásticos [web] [s.l.]: [s.n.], 2012 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2012/11/resinas-urea-formaldehido.html>

Risparmio e benessere in ogni stagione. En: climacell [web] [S.l.]: [sn.] [ca. 2015] [Consulta: 16 abril de 2016] Disponible en: http://www.climacell.it/images/downloads/Download_italia/Climacell_2015_web.pdf

RMT-NITA COTTON. En: RMT-NITA [web], Barcelona: RMT-NITA [Consulta: 4 mayo del 2016]. Disponible en: <http://rmt-nita.es/esp/cotton.php>

RMT-NITA WOOL [web] Barcelona: RMT (Recuperación de Materiales Textiles) [Consulta: 25 marzo 2016]. Disponible en: <http://rmt-nita.es/esp/wool.php>

RMT Recuperación de Materiales Textiles, S.A. *Catálogo RMT-NITA COTTON*. Barcelona: RMT Recuperación de Materiales Textiles, S.A., 2010 [Consulta: 4 mayo de 2016] Disponible en: <http://rmt-nita.es/downloads/RMT-NITA-COTTON.pdf>

Rockwool. *Soluciones de aislamiento térmico, acústico y contra el fuego. Respuesta a los requisitos del CTE* [en línea] [S.l.]: Rockwool, 2007 [consulta: 31 mayo 2016] Disponible en: <http://www.brico.com/wood/mineral-wool/pdf/e-mas-informacion.pdf>

Rockwool. *Ficha de instrucciones de seguridad* [en línea] [S.l.]: Rockwool, 2013 [consulta: 1 de junio del 2016] Disponible en: <http://download.rockwool.es/media/135702/ficha%20de%20seguridad%2001-2013.pdf>

Rockwool. *Tarifa 2016. Precios recomendados* [en línea] [S.l.]: Rockwool, 2015 [consulta: 4 de junio del 2016] Disponible en:

http://download.rockwool.es/media/444219/tarifa_ROCKWOOL_2016_es.pdf

RODRÍGUEZ GÁLVEZ, Helena. Aislamientos Naturales: productos industriales de cáñamo. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2014] [Consulta: 26 marzo de 2016] Disponible en:

<http://www.mimbrea.com/aislamientos-naturales-i-productos-industriales-de-canamo/>

RODRÍGUEZ GÁLVEZ, Helena. Aislamientos naturales II: la celulosa. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.]: [sn.] [ca. 2015] [Consulta: 16 abril de 2016] Disponible en:

<http://www.mimbrea.com/aislamientos-naturales-ii-la-celulosa/>

RODRÍGUEZ GÁLVEZ, Helena. Aislante naturales III: Lana de oveja En: COR & Asociados y aRRsa. Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.: sn.] [ca. 2015] [Consulta: 30 de abril de 2016] Disponible en:

<http://www.mimbrea.com/aislantes-naturales-iii-lana-de-oveja/>

RODRÍGUEZ GÁLVEZ, Helena. El cáñamo para la eficiencia energética. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2014] [Consulta: 26 marzo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/el-canamo-para-la-eficiencia-energetica/>

RODRÍGUEZ GLAVEZ, Helena. Hongos y desechos agrícolas en la construcción. Ecoactive Desing. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2013] [consulta: 14 de marzo de 2016] Disponible en:

<http://www.mimbrea.com/hongos-y-desechos-agricolas-en-la-construccion-ecovative-design/>

ROSAS RIVERA, Ángel Alfredo. *La lana de ovino como material aislante: natural, renovable y sostenible* [trabajo fin de máster] Laia HAURIE IBARRA; Inmaculada RODRÍGUEZ CANTALAPIEDRA, directoras. Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona, 2016 [en línea] [Consulta: 28 abril 2016] Disponible en:

http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84043/memoria_Y3698583J_1454367601159.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ROSER, Costa, et al. Fibras minerales artificiales y aparato respiratorio. *Archivos de bronconeumología* [web] Barcelona: servicio de neumología del Hospital Universitari Autònoma de Barcelona, 2012 [consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en:

<http://www.archbronconeumol.org/es/fibras-minerales-artificiales-aparato-respiratorio/articulo/S0300289612001202/#aff0005>

ROUGERON, Claude. *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*. [S.l.]: Técnicos Asociados S.A., 1977, 320p. ISBN 978-84-714609-7-4

RUÍZ, Miguel Ángel. Posidonia oceánica: del fondo marino al tabique. En: *Los pies en la tierra* [sitio web]. Murcia: La Verdad Multimedia, S.A., 2013 [consulta: 5 de abril del 2016] Disponible en:

<http://lospiesenlatierra.laverdad.es/blog/2571-posidonia-oceanica-del-fondo-marino-al-tabique>

Bibliografía consultada

Saint-Gobain. *¿Qué es la Arlita Leca?* [En línea], 2016: Weber Saint-Gobain [s.n.] [consulta: 19 mayo 2016] Disponible en: <http://www.weber.es/soluciones-ligeras-con-arlitareg-lecareg/ayuda-y-consejos/que-es-arlitareg-lecareg.html>

Scheda Tecnica climacel pure. En: climacell [web]. [S.l.]: [s.n.] [ca. 2015] [Consulta: 16 abril de 2016] Disponible en: <http://www.climacell.it/pdf/scheda%20tecnica%20climacell%20pure.pdf>

SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

Seaweed under the roof. En: Fraunhofer [sitio web]. [S.l.]: [s.n.], 2013 [Consulta: 13 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2013/march/seaweed-under-the-roof.html>

SERRANO GÓMEZ, Miguel. *Algodón reciclado como aislamiento* [sitio web]. Santiago de Compostela: Miguel Serrano Gómez, arquitecto, 2016 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en: <http://miguelserrano-arquitecto.blogspot.com.es/2016/05/algodon-reciclado-como-aislamiento.html>

SLICHTER, Paul. Common Reed. *Phragmites australis ssp. australis* [web] [S.l.:s.n.] 13 mayo 2013 [Consulta: 22 de mayo de 2016] Disponible en: <http://science.halleyhosting.com/nature/basin/poaceae/phragmites/phragmites.html>

SOLÉ BONET, J., et al. *Las características ambientales de los productos aislantes para los edificios: caso particular de las lanas minerales* [en línea]. Afelma: 20 de mayo de 2009 [consulta: 26 mayo 2016] Disponible en: <http://aislar.com/wp-content/uploads/2015/09/noticia-ampliada-impacto-ambiental.pdf>

SO Societat Orgànica. *Anàlisi ambiental dels aïllaments de llana d'ovella i de multifibres fabricats per RMT Recuperación de materiales textiles SA. Informe final* [en línea] Barcelona: SO Societat Orgànica, 2009 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en: <http://rmt-nita.es/downloads/analisi-ambiental-dels-aïllaments-de-llana-dovella-i-de-multifibres-fabricats-per-RMT-SA.pdf>

Steico. *Productos para una construcción sana con materiales renovables* [en línea] [s.l.]: Steico, 17 junio 2015 [consulta: 8 mayo 2016] Disponible en: <http://www.distribuciosostenible.com/productes-productos/>

Sundolitt. *Poliestireno extruido. Catálogo de productos para la construcción: aislamiento y aligeramiento*. En: Sundolitt [web] Madrid: Sundolitt, 2008 [Consulta: 25 de junio de 2016]. Disponible en: http://www.sundolitt.es/download.aspx?object_id=4BCFE258DD1E4AB3B4F0FA8BA5DE434F.pdf

Tablero aislante de lino, topo DP (ficha técnica) [en línea]. Biohaus, 2009 [consulta 3 mayo]. Disponible en: <http://www.biohaus.es/pdf/Flachshaus.pdf>

Tableros de fibra duros / semiduros / aislantes [en línea]. AITIM; Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, 2011 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en: http://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_400_Tableros_DUROS_04.07.2011.pdf

TERMENS, Maren. *La alpaca de paja*. En: Casas de paja [web] [s.l.]: Casas de paja, 2015 [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.casasdepaja.org/wiki/aspectos-tecnicos/item/213-la-alpaca-de-paja>

The Story of Cotton [en línea]. En: cotton [consulta 3 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.cotton.org/pubs/cottoncounts/story/gin-and-market.cfm>

URSA, Grupo Uralita. *Caracterización de la lana mineral de vidrio y su aplicación en edificación* [en línea] Madrid: URSA, Grupo Uralita, 2009 [consulta: 5 de junio del 2016] Disponible en: <http://docplayer.es/2737842-Caracterizacion-de-la-lana-mineral-de-vidrio-y-su-aplicacion-en-edificacion.html>

URSA. *Lista de precios recomendados. Marzo 2016* [en línea] Tarragona: URSA, 2016 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: http://www.ursa.es/es-es/productos/Documents/Tarifa_2016.pdf

URSA. Thermal and acoustic insulation [en línea] Tarragona: URSA, 2015 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: <http://www.ursa.es/es-es/productos/Documents/export-ursa-2015.pdf>

Usos industriales de las algas diatomeas [en línea] Madrid: Universidad de Alcalá, 2008 [Consulta 4 julio 2016] Disponible en: <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/7994/Diatomeas2.pdf?sequence=1>

VALERO, Pilar. Aislando bien nuestra casa. *Revista ReHabitat*. Madrid, 2003, nº6, pp. 30-33. ISSN 1579-3281

VELASCO FERNÁNDEZ, Luís. El corcho, aislante ideal (I.) *AITIM* [en línea] Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de Madera y Corcho, 1977. Nº 85 [consulta: 10 marzo 2016] Disponible en: http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_923_16803.pdf

Verlite. *Vermiculita expandida* [en línea] España: Vermiculita y derivados, S.L. [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.vermiculitayderivados.com/wp-content/uploads/2015/11/catalogo-construccion.pdf>

Verlite. *Información técnica* [en línea] España: Vermiculita y derivados, S.L., 2014 [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.vermiculitayderivados.com/wp-content/uploads/2015/11/FICHA-TECNICA.pdf>

Verlite. *Hoja de seguridad. Vermiculita y derivados* [en línea] España: Vermiculita y derivados, S.L., 2011 [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.vermiculitayderivados.com/wp-content/uploads/2015/11/Hoja-de-seguridad-VERLITE-2011.pdf>

Video Life WDS. Vídeo documental WDS (Wool Dry Scouring) [vídeo en línea]. RMT Recuperación de Materiales Textiles, 2016 [consulta 27 abril 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=Ud-gq-hKQOQ&feature=youtu.be>

WADEL, Gerardo. Aislantes térmicos renovables y reciclado de lana de oveja y algodón. *Cercha* [en línea]. Madrid: PREMAAT, 2011, nº107, pp. 55-60 [Consulta: 22 marzo 2016]. Disponible en: <http://www.musaat.es/cercha;jsessionid=B7878E6140C8D1C12DA92C21275BA6C4?anio=2011>

What's Europerl Perlite? En: nordiskperlite [web] Dinamarca: Nordisk Perlite ApS, 2014 [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: http://www.perlite.dk/english/europerl_perlite.htm

Bibliografía consultada

Why should I use wool?. *SheepWool Insulation* [web] Ireland: [s.n.] [Consulta: 25 marzo 2016].
Disponible en: http://sheepwoolinsulation.ie/why_wool/

Xunta de Galicia. Nova etiqueta dos produtos químicos canceríxenos, mutáxenos, tóxicos para a reprodución (CMR) e sensibilizantes (regulamento CLP). *Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo*, 2016 [correo electrónico] [Consulta: 2 junio del 2016]

Что такое теплоизоляция (¿Cuál es el aislameinto térmico?) ROSIZOL [web] Rusia: Asociación Profesional de los Fabricantes de Aislamiento de Lana Mineral de Alta Calidad, 2014 [consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.rosizol.org/index.php?pid=3>

ZECHETTO, Mirco. La prefabricación con paja: llevando la cubierta al cielo. *Brizna* [en línea]. Girona: Boletín de la red de construcción con paja, mayo 2015, 11 págs. Disponible en: <http://www.casasdepaja.org/2013-01-09-19-15-25/brizna-n-16>

7.2 Bibliografía por materiales

■ Bibliografía común:

Abreviaturas utilizadas. Adecuación de la terminología española a la europea. En: Andimat [web] [consulta: 25 enero 2016] Disponible en: <http://www.andimat.es/sobre-aislamiento/conceptos-basicos-del-aislamiento/abreviaturas-utilizadas-adequacion-de-la-terminologia-espanola-a-la-europea>

Aislamientos ecológicos. *EcoHabitar*. Olba (Teruel): EcoHabitar Visiones sostenibles. 2011, nº 30, pp. 22 - 31. ISSN: 1697-9583.

Aislantes ecológicos. En: *Terra Ecología Práctica* [web] 8 de enero 2008 [consulta: 25 enero 2016] Disponible en: <http://www.terra.org/categorias/articulos/aislantes-ecologicos>

Aislamientos ecológicos térmicos y acústicos. En: aislayahorra [web] [s.l.]: Aisla y Ahorra, S.L., 2011 [Consulta: 20 febrero del 2016]. Disponible en: <http://aislayahorra.blogspot.com.es/2011/08/aislamientos-ecologicos-termicos-y.html>

Aislamientos e impermeabilizaciones convenientes. En: *EcoHabitar* [web] Olba (Teruel): EcoHabitar Visiones sostenibles, 2012 [Consulta: 23 marzo del 2016]. Disponible en: <http://www.ecohabitar.org/aislamientos-e-impermeabilizacion-convenientes/>

Aislamiento térmico: definiciones ordenadas alfabéticamente. En: Andimat [web] Madrid: Andimat [consulta: 5 enero 2016]. Disponible en: <http://www.andimat.es/sobre-aislamiento/conceptos-basicos-del-aislamiento/aislamiento-termico-definiciones-ordenadas-alfabeticamente>

Anàlisi ambiental dels aïllaments de llana d'ovella i de multifibres fabricats per RMT Recuperación de materiales textiles SA, Informe final [en línea] Barcelona: Societat Orgànica, 2008 [Consulta: 22 marzo 2016] Disponible en: <http://rmt-nita.com/downloads/analisi-ambiental-dels-aïllaments-de-llana-dovella-i-de-multifibres-fabricats-per-RMT-SA.pdf>

ANDUIZA PEREA, Eva, et al. *Citas bibliográficas en prácticas y trabajos*. En: Universidad de Murcia [web] Murcia: Área de Ciencia Política y de la Administración, 2010 [consulta: 4 julio 2016] Disponible en: <http://www.um.es/cpaum/files/recursos/1-F4cc9345d11288254557-rec-2-1.pdf>

Armacell. *Información técnica nº11. La permeabilidad al vapor de agua, la permeabilidad y el factor de resistencia* [en línea] Madrid: Armacell, S.A.; 2002 [Consulta: 3 de marzo del 2016] Disponible en: [http://www.armacell.com/WWW/armacell/ACwwwAttach.nsf/ansFiles/000-003-011-E\(E\).pdf/\\$File/000-003-011-E\(E\).pdf](http://www.armacell.com/WWW/armacell/ACwwwAttach.nsf/ansFiles/000-003-011-E(E).pdf/$File/000-003-011-E(E).pdf)

BAÑO NIEVA, Antonio, et al. *Guía de construcción sostenible*. Madrid: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), 2005. Depósito legal: M-51636-2005.

BENEDÍ OLIVER, Jesús. *La construcción eficiente energéticamente como necesidad de futuro y su aplicación a un edificio en valencia* [trabajo fin de carrera en línea] M^a Dolores Gómez Benedicto, dir. Universidad Jaume I, Arquitectura Técnica, 2013 [consulta: 15 marzo 2016] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10234/76066>

BOE. Real Decreto 842/2013, de 31 de octubre, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego. Madrid: BOE, 2013

BÜHL, Gisela. Typhahouse muestra los paneles de aislamiento que vienen de los pantanos. *Ecoconstrucción, revista de construcción sostenible* [en línea]. Madrid, 2015 [consulta 12 abril 2016]. Disponible en: <http://www.ecoconstruccion.net/noticias/typhahouse-muestra-los-paneles-de-aislamiento-que-vienen-de-los-pantanos-5O4cx>

Clasificación de sustancias cancerígenas. En: AECC, contra el cáncer [web] Madrid: [s.n.] 5 de agosto 2015 [consulta: 25 mayo 2016] Disponible en: <https://www.aecc.es/SOBREELCANCER/PREVENCION/SUSTANCIASCANCERIGENAS/Paginas/clasificaciondesustanciascancerigenas.aspx>

Comunidad Valenciana. *Cuadernos de rehabilitación*. España: IVE, Instituto Valenciano de la Edificación, 2011 [consulta: 2 febrero del 2016] Disponible en: http://www.five.es/descargas/archivos/P1_portada.pdf

Conoce los aislantes ecológicos. En: EcoHouses [web] Girona: Ecohouses, [consulta: 2 febrero del 2016] Disponible en: <http://www.ecohouses.es/conoce-los-aislantes-ecologicos/>

Consellería de traballo e benestar (España). A nova etiqueta dos produtos químicos perigosos é xa obrigatoria para as substancias dende o 1 de decembro de 2010 [En línea] Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2014 [Consulta: 2 junio del 2016] Disponible en: http://issga.xunta.es/export/sites/default/recursos/descargas/documentacion/publicacions/documento_informativo_nova_etiqueta.pdf

ISOVER. *Declaraciones Ambientales de Producto. Aislamiento Sostenible*. 2ª Edición [web] Madrid: ISOVER, 2015 [consulta 10 febrero 2016] Disponible en: <https://www.isover.es/sites/isover.es/files/assets/documents/dap-oct-2015.pdf>

Dossier isolation naturelle [web] 16 noviembre [consulta: febrero a junio de 2016] Disponible en: <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/actu/d/maison-dossier-isolation-naturelle-laine-mouton-chanvre-21394/>

Draper, Peter. *Comparison of natural insulations* [en línea]. [S.l.: s.n.], 2008 [consulta: 19 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.sustainablebuildingresource.co.uk/files/serve/files/serve/1503/8fcb7c07791983996701f58577cf78406b722d4/>

EcoTejados. La importancia de los aislantes térmicos En: *EcoTejados* [web] Cabretón (La Rioja): EcoTejados, 2013 [consulta: 18 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.ecotejados.com/aislantes-termicos-acusticos-bioclimaticos.htm>

España. Fichas Internacionales de Seguridad Química. *Ministerio de Trabajo e Inmigración*, 2016 [correo electrónico] [Consulta: 2 junio del 2016]

España. UNE-EN ISO 7345-1996 Aislamiento térmico. Magnitudes físicas y definiciones. Aenor 1996.

España. UNE-EN ISO 9229-2011 *Aislamiento térmico. Vocabulario*. Aenor 2011.

España. UNE-EN ISO 9251-1996 *Aislamiento térmico. Condiciones de transmisión térmica y propiedades de los materiales. Vocabulario*. Aenor 1996.

España. UNE-EN ISO 10456-2012 Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño. Aenor 2012.

España. UNE-EN ISO 14040-2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. Aenor 2006.

España. UNE-EN 12524-2000 Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores de diseño tabulados. Aenor 2000.

España. UNE-EN 14044-2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices. Aenor 2006.

España. UNE-EN 14046-2015 Gestión ambiental. Huella del agua. Principios, requisitos y directrices. Aenor 2015.

Federación Internacional de Trabajadores de las Industrias Metalúrgicas (FITIM). *Cáncer profesional / cáncer cero. Guía sindical para la prevención*. Ginebra: Tabergs Tryckeri AB, 2007 [consulta: 25 mayo 2016] Disponible en: <http://www.bwint.org/pdfs/CancerCeroSp.pdf>

FLORES, Ángel. *Aislamiento térmico, tipos y recomendaciones*. En: grupoUnamacor [sitio web]. Córdoba: Grupo Unamacor, S.L., 2011 [consulta: 1 junio del 2016] Disponible en: <http://www.grupounamacor.com/?p=1147>

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (Fenercom). *Guía sobre materiales aislantes y eficiencia energética*. Madrid: Fenercom, 2012 [consulta: 6 junio del 2016] Disponible en: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-materiales-aislantes-y-eficiencia-energetica-fenercom-2012.pdf>

IANNONE LADO, Sandro. *Tipos y usos de los aislantes térmicos* [trabajo fin de carrera] Adelino Soler Ageitos, dir. Universidade de A Coruña, Arquitectura Técnica, 2013.

IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. *Guías sectoriales de ecodiseño. Materiales de construcción*. Bilbao: IHOBE, 2010 [Consulta: 4 febrero de 2016] Disponible en: <http://www.caminospaisvasco.com/Profesion/documentostecnicos/materialesdeconstruccion>

Impacto de los materiales de construcción, análisis del ciclo de vida. *EcoHabitar* [en línea] Olba (Teruel): EcoHabitar Visiones sostenibles, 2014 [consulta: 7 enero 2016]. Disponible en: <http://www.ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/>

Informe sobre fachadas y reacción al fuego de los materiales aislantes. En: Andimat [web] Madrid: Andimat, enero 2016 [consulta: 11 julio 2016]. Disponible en: <http://www.andimat.es/wp-content/uploads/Informe-sobre-fachadas-y-reacci%C3%B3n-al-fuego-de-los-materiales-aislantes-2016.pdf>

Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo (España). Regulación UE sobre productos químicos (II). Reglamento CLP: aspectos básicos. *Normas técnicas de prevención* [en línea] Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2011 [Consulta: 2 junio del 2016] Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/821a921/878w.pdf>

Instituto Valenciano de la edificación. *Base de datos de la construcción IVE 2015* [en línea] Professional Software, 2014 [Consulta: durante el desarrollo del trabajo] Disponible en: <http://www.five.es/basedatos/Visualizador/Base15/index.htm>

ITeC. *Banco de datos Bedec* [en línea] Versión 33, 2016 [Consulta: durante el desarrollo del trabajo] Disponible en: <http://itec.es/nouBedec.e/bedec.aspx>

Leonardo da Vinci Partnership Project. Wood Constructions and Energy Efficiency in Vocational Training. *Global Comparison of Insulation Materials* [en línea] [s.l.]: Lifelon Learning Programme, 2015 [consulta: 19 de marzo de 2016] Disponible en: <https://woodergy.files.wordpress.com/2014/04/study-global-comparison-insulation-materials-kbs.pdf>

Logrotex. *Catálogo de aislantes*. Logroño: Logrotex, 2012 [Consulta: 25 febrero de 2016] Disponible en: <http://www.logrotex.com/files/descargas/catalogo-aislantes-es.pdf>

Materiales aislantes y sus ciclos de vida. En: ISOVER [web] [s.l.]: [s.n.], 2016 [Consulta: 2 marzo del 2016] Disponible en: <http://www.isover.es/ISOVER-y-la-Sostenibilidad/Materiales-aislantes-y-sus-ciclos-de-vida>

MENA, Javier de. Materiales aislantes fabricados con productos reciclados. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2014] [consulta: 14 de febrero de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/materiales-aislantes-fabricados-con-productos-reciclados/>

MENA, Javier de. Materiales de rápida renovación para la construcción. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2014] [consulta: 7 marzo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/materiales-de-rapida-renovacion-para-la-construccion/>

MENA, Javier de. ¿Qué materiales aislantes ahorran más energía a lo largo de su vida? En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2014] [consulta: 18 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/que-materiales-aislantes-ahorran-mas-energia-a-lo-largo-de-su-vida/>

MENA, Javier de. ¿Se pueden reciclar los materiales que aíslan nuestros edificios? En: COR & Asociados y aRRsa. Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.: sn.] [ca. 2012] [Consulta: 18 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/se-pueden-reciclar-los-materiales-que-aislan-nuestros-edificios/>

Ministerio de Asuntos Exteriores de Francia, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. *Compendio de agronomía tropical*. Tomo II. San José, Costa Rica: Ediciones IICA, 1989. ISBN 92-9039-152-9.

Ministerio de Fomento. *CTE DB-HE: documento básico ahorro de energía. Con comentarios del Ministerio de Fomento*. Madrid, 2013. 78 pág.

Ministerio de Fomento. *CTE DA DB-HE/1: cálculo de parámetros característicos de la envolvente*. Madrid, 2015. 19 pág.

ONU. *Lista consolidada de productos cuyo consumo o venta han sido prohibidos, retirados, sometidos a restricciones rigurosas o no han sido aprobados por los gobiernos. Productos farmacéuticos*. 8ª edición. Nueva York: ONU, 2006. ISBN: 92-1-330179-0

PASTOR JUAN, Alfonso. *Dossier: Aislantes térmicos en la edificación. Materiales. Exigencias normativas. Directorios*. Alicante: Stampa Edición Digital, S.L. 2012, 72p. ISBN 978-84-938147-2-4

Recuperación y reciclaje de fosfatos. En: *Datos de fosfato* [web], Atlanta (Georgia): Foro de Fosfato de las Américas [Consulta: 25 abril del 2016]. Disponible en:
<http://www.datosdefosfatos.org/resource.asp>

ROUGERON, Claude. *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*. [S.I.]: Técnicos Asociados S.A., 1977, 320p. ISBN 978-84-714609-7-4

SCHMITZ-GÜNTHER, Thomas. *Living spacesustainable building and desing*. Cologne: Könemann, 1999, 479p. ISBN 3-89508-925-7

VALERO, Pilar. Aislando bien nuestra casa. *Revista ReHabitat*. Madrid, 2003, nº6, pp. 30-33. ISSN 1579-3281

WADEL, Gerardo. Aislantes térmicos renovables y reciclado de lana de oveja y algodón. *Cercha* [en línea]. Madrid: PREMAAT, 2011, nº107, pp. 55-60 [Consulta: 22 marzo 2016]. Disponible en:
<http://www.musaat.es/cercha;jsessionid=B7878E6140C8D1C12DA92C21275BA6C4?anio=2011>

Xunta de Galicia. Nova etiqueta dos produtos químicos canceríxenos, mutáxenos, tóxicos para a reprodución (CMR) e sensibilizantes (regulamento CLP). *Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo*, 2016 [correo electrónico] [Consulta: 2 junio del 2016]

■ Algodón

Aislantes ecológicos. Geopanel [vídeo en línea]. Geopanel. Ángel Ruiz, 2015 [consulta: 3 de mayo 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=TcGFngfmV5A>

El algodón: documental completo [vídeo en línea]. CienciasEducativas S.A., 2013 [consulta: 3 de mayo 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=TP7-KDx7vg4>

FARRE, José, RMT. *Información sobre nuestros aislantes sostenibles RMT-NITA* [mensaje electrónico]. 31 marzo 2016.

GALINDO, Cristina. El reciclaje de la ropa que ya no queremos. *El País* [en línea]. Madrid: El País, 2015 [consulta: 3 mayo 2016] Disponible en: http://elpais.com/elpais/2015/05/27/eps/1432747889_504221.html

Guía del exportador de algodón [en línea] Ginebra: Centro de Comercio Internacional, 2015 [consulta: 3 mayo 2016] Disponible en: <http://www.guiadealgodon.org/>

GEOPANNEL. *El aislante ecológico d altas prestaciones. Catálogo oficial* [en línea] Logroño: GEOPANNEL, 2014 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.geopannel.com/pdf/Geopannel-Catalogue-2014.pdf>

ITEC. Documento de Idoneidad Técnica Europeo. NITA-COTON-FRP [en línea] Barcelona: ITEC – Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña, 2013 [consulta: 3 mayo 2016] Disponible en: http://itec.cat/certificacion/files/dite_10_0311_18_6_2013.pdf

Logrotex. Isolgreen Cotton [en línea] Barcelona: Logrotex, 2012 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.logrotex.com/files/descargas/FT-ISOLGREEN-COTTON.pdf>

Materiales aislantes. Algogón [en línea]. EcoHabitar, 2005 [consulta 3 mayo 2016]. Disponible en: http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2011/12/ficha_algodon.pdf

MEGAPLASTIC. *Manual de no tejidos. Clasificación, identificación y aplicaciones* [en línea]. Buenos Aires: ABINT, 2012 [consulta: 3 mayo 2016] Disponible en: http://www.academia.edu/7127851/Informaci%C3%B3n_t%C3%A9cnica_Non-woven_Manual_de

RMT-NITA COTTON. En: RMT-NITA [web], Barcelona: RMT-NITA [Consulta: 4 mayo del 2016]. Disponible en: <http://rmt-nita.es/esp/cotton.php>

RMT Recuperación de Materiales Textiles, S.A. *Catálogo RMT-NITA COTTON*. Barcelona: RMT Recuperación de Materiales Textiles, S.A., 2010 [Consulta: 4 mayo de 2016] Disponible en: <http://rmt-nita.es/downloads/RMT-NITA-COTTON.pdf>

SERRANO GÓMEZ, Miguel. *Algodón reciclado como aislamiento* [sitio web]. Santiago de Compostela: Miguel Serrano Gómez, arquitecto, 2016 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en: <http://miguelserrano-arquitecto.blogspot.com.es/2016/05/algodon-reciclado-como-aislamiento.html>

SO Societat Orgànica. *Anàlisi ambiental dels aïllaments de llana dóvella i de multifibres fabricats per RMT Recuperación de materiales textiles SA. Informe final* [en línea] Barcelona: SO Societat Orgànica, 2009 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en: <http://rmt-nita.es/downloads/analisi-ambiental-dels-aïllaments-de-llana-dovella-i-de-multifibres-fabricats-per-RMT-SA.pdf>

The Story of Cotton [en línea]. En: cotton [consulta 3 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.cotton.org/pubs/cottoncounts/story/gin-and-market.cfm>

■ Cáñamo

About Hemp. En: hempbuilding [web]. [s.l.]: Steve Allin, 2015 [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.hempbuilding.com/about.shtml>

A.R.S.E.C. *Cannabis. Manual de cultivo para el autoconsumo*. Barcelona: Arsec, 2001. ISBN 84-605-6522-X.

BRÜMMER, Mónica. El cáñamo en la construcción: antecedentes, materiales y técnicas. *EcoConstrucción: revista de construcción sostenible* [en línea]. Las Matas (Madrid): Omimedia, mayo 2015, nº42 [consulta: 26 marzo 2016] Disponible en: <http://www.ecohouses.es/wp-content/uploads/2015/06/el-canamo-en-la-construccion.pdf>

Construcción con cáñamo. En: EcoHabitar [web]. Olba, Teruel: [s.n.], 2012 [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.ecohabitar.org/construccion-con-canamo/>

El cáñamo. En: Alsativa Sociedad Cooperativa [web], Andalucía: [s.n.], [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.alsativa.es/canamo.html>

El cáñamo en la construcción. En: Ecohouses, feel different [web], Girona: [s.n.], 2014 [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.ecohouses.es/el-canamo-en-la-construccion/>

Fibres de chanvre. En: Le Chanvre, un produit d'exception [web], Francia: Le Chanvre, 2012 [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.chanvre.oxatis.com/PBCPPlayer.asp?ID=151416>

La planta. En: DENETER, Centro de conservación genética de Cannabis sativa L. y subespecies [web], España: [s.n.], 2012 [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: http://www.demeter.org.es/cms/doku.php?id=es:planta_can

Materiales aislantes. Cáñamo [en línea]. EcoHabitar, 2005 [consulta 10 abril 2016]. Disponible en: http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2011/12/ficha_canamo.pdf

NITA-HEMP. En: RMT-NITA [web], Barcelona: RMT-NITA [Consulta: 26 marzo del 2016]. Disponible en: <http://rmt-nita.es/esp/hemp.php>

RODRÍGUEZ GÁLVEZ, Helena. Aislamientos Naturales: productos industriales de cáñamo. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2014] [Consulta: 26 marzo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/aislamientos-naturales-i-productos-industriales-de-canamo/>

RODRÍGUEZ GÁLVEZ, Helena. El cáñamo para la eficiencia energética. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2014] [Consulta: 26 marzo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/el-canamo-para-la-eficiencia-energetica/>

■ Celulosa

Aislante de celulosa Fabricación [vídeo en línea]. Discovery Chanel, 2009 [consulta: 10 abril 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=HppZc255ZK0>

Aislamientos- Celulosa a granel. En: Biohaus [web] Navarra: [s.n.], 2012 [Consulta: 15 abril del 2016]. Disponible en: http://www.biohaus.es/productos/celulosa_insufurada.php

BERKOWICZ, Michel. *La ouate de cellulose*. En: futura-sciences [web] [S.l.]: [sn.] [ca. 2015] [Consulta: 16 abril de 2016] Disponible en: <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dossiers/d/maison-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/page/12/>

Homatherm. *Price list 2016. For export worldwide* [en línea] Alemania: Homatherm, 2016 [consulta 15 abril 2016]. Disponible en: <http://www.homatherm.com/wp-content/uploads/downloads/en/Preisliste.pdf>

La fibra de celulosa como aislante en la construcción. En: SlideShare [web] A Coruña: ETSAC, 2013 [Consulta: 15 abril del 2016]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/FerminBlanco/celulosa-como-aislante-en-la-construccion>

Materiales aislantes. Celulosa [en línea]. EcoHabitar, 2005 [consulta 15 abril 2016]. Disponible en: http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2012/01/ficha_celulosa.pdf

Ouate de cellulose: faut-il avoir peur du sel de bore? En: *consoglobe, consommer mieux-vivre mieux* [web] [s.l.]: [s.n.], 2012 [Consulta: 15 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.consoglobe.com/ouate-de-cellulose-faut-il-avoir-peur-du-sel-de-bore-cg>

Recuperación y reciclaje de fosfatos. En: *Datos de fosfato* [web], Atlanta (Georgia): Foro de Fosfato de las Américas [Consulta: 15 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.datosdefosfatos.org/resource.asp>

Risparmio e benessere in ogni stagione. En: climacell [web] [S.l.]: [sn.] [ca. 2015] [Consulta: 16 abril de 2016] Disponible en: http://www.climacell.it/images/downloads/Download_italia/Climacell_2015_web.pdf

RODRÍGUEZ GÁLVEZ, Helena. Aislamientos naturales II: la celulosa. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.]: [sn.] [ca. 2015] [Consulta: 16 abril de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/aislamientos-naturales-ii-la-celulosa/>

Scheda Tecnica climacel pure. En: climacell [web] [S.l.]: [sn.] [ca. 2015] [Consulta: 16 abril de 2016] Disponible en: <http://www.climacell.it/pdf/scheda%20tecnica%20climacell%20pure.pdf>

■ Coco

ÁLVAREZ DE LA CADENA, Silva Jimena, et al. Elaboración de material para la construcción de paredes falsas en interiores con una base de bagazo de caña *Saccharum officinarum* L y estopa de coco *Cocos nucifera* L. En: *XX Concurso Universitario Feria de las Ciencias* [en línea]. Universidad Nacional Autónoma de México, 2012 [consulta: 04 mayo 2016] Disponible en: http://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria20/feria049_01_elaboracion_de_material_para_la_construccion_de_pa.pdf

BCK Barnacork. *Catálogo aislamientos 2012, soluciones naturales para aislamientos térmicos, acústicos y antivibratorios* [en línea] Barcelona: Barnacork, S.L., 2012[consulta: 05 mayo 2016] Disponible en: <http://www.barnacork.com/11Boris/fileWeb/catalogo-aislamientos-2012.pdf>

CHÁVEZ HERNÁNDEZ, Pedro Eduardo et al. *Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de aislantes térmicos fabricados con polvo de la estopa de coco* [trabajo fin de grado en línea]. Leyla Marina JIMÉNZ MONROY, directora. Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería mecánica, 2008 [consulta: 17 abril 2016]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/1773/>

■ Corcho

Amorim. *About insulation cork* [en línea] [S.I.]: Amorim, julio 2015 [consulta: 05 marzo 2016] Disponible en: http://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/About_expanded_insulation_baixa.pdf

Amorim. *A arte da cortiça* [en línea] [S.I.]: Amorim, agosto 2014 [consulta: 05 marzo 2016] Disponible en: http://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/Brochura_Arte_Cortica_PT_Small.pdf

El corcho: material sostenible en al rehabilitación energética de edificios. En: *certificadcos energéticos* [web] [s.l.]: [s.n.], 2014 [consulta: 10 marzo 2016] Disponible en: <http://www.certificadosenergeticos.com/corcho-material-sostenible-rehabilitacion-energetica-edificios>

MANZANERO, Javier. El corcho, los paneles de corcho y sus ventajas. En: *ecoemas* [web] [s.l.]: [s.n.], 2014 [consulta: 10 marzo 2016] Disponible en: <http://ecoemas.com/el-corcho-los-paneles-de-corcho-y-sus-ventajas/>

MONTES FERNÁNDEZ, M^a Arantzazu. *El corcho como material de construcción* [trabajo fin de carrera] Ramón VÁZQUEZ VÁZQUEZ, director. Universidade de A Coruña, Escola Universitaria de Arquitectura Técnica, 2014.

Perfeito por natureza. En: Amorim [web] Portugal: [s.n.], 2015 [consulta: 10 marzo 2016] Disponible en: <http://www.amorimcork.com/pt/natural-cork/raw-material-and-production-process/>

Producción corcho expandido Aglocork Térmico [vídeo en línea]. Banacork, 2012 [consulta: 7 marzo 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=dUpq2olxubg>

VELASCO FERNÁNDEZ, Luís. El corcho, aislante ideal (I.) *AITIM* [en línea] Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de Madera y Corcho, 1977. Nº 85 [consulta: 10 marzo 2016] Disponible en: http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_923_16803.pdf

¿Qué es el corcho? En: BCK Banacork [web] Barcelona: [s.n.] ,2014 [consulta: 10 marzo 2016]
Disponible en: <http://www.barnacork.com/el-corcho/ique-es-el-corcho.html>

■ Lana de oveja

GALINDO, Marián. Aislamientos naturales: lana de oveja [web] Castellón de la Plana: GMG arquitectos, 2016 [Consulta: 25 marzo 2016]. Disponible en: <http://ecoemas.com/aislamientos-naturales-lana-de-oveja/>

Lana [en línea] Universidad Nacional Ingeniería UNI, 2010 [S.l.:sn.] [Consulta: 22 marzo 2016]
Disponible en: <http://es.slideshare.net/256yaroti/monografia-lana-final-xd>

RMT-NITA WOOL [web] Barcelona: RMT (Recuperación de Materiales Textiles) [Consulta: 25 marzo 2016]. Disponible en: <http://rmt-nita.es/esp/wool.php>

RODRÍGUEZ GÁLVEZ, Helena. Aislante naturales III: Lana de oveja En: COR & Asociados y aRRsa. Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.: sn.] [ca. 2015] [Consulta: 30 de abril de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/aislantes-naturales-iii-lana-de-oveja/>

ROSAS RIVERA, Ángel Alfredo. *La lana de ovino como material aislante: natural, renovable y sostenible* [trabajo fin de máster] Laia HAURIE IBARRA; Inmaculada RODRÍGUEZ CANTALAPIEDRA, directoras. Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona, 2016 [en línea] [Consulta: 28 abril 2016] Disponible en: http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84043/memoria_Y3698583J_1454367601159.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Video Life WDS. Vídeo documental WDS (Wool Dry Scouring) [vídeo en línea]. RMT Recuperación de Materiales Textiles, 2016 [consulta 27 abril 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=Ud-gq-hKQQQ&feature=youtu.be>

Why should I use wool?. *SheepWool Insulation* [web] Ireland: [s.n.] [Consulta: 25 marzo 2016]. Disponible en: http://sheepwoolinsulation.ie/why_wool/

■ Lino

Proceso de fabricación aislante de lino. En: futura-sciences[web] [s.l.]: [s.n.] [Consulta: 3 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dossiers/d/maison-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/page/15/>

Tablero aislante de lino, topo DP (ficha técnica) [en línea]. Biohaus, 2009 [consulta 3 mayo]. Disponible en: <http://www.biohaus.es/pdf/Flachshaus.pdf>

■ Madera

Clasificación de la madera [en línea]. European Commission [consulta 6 maio 2016]. Disponible en: http://www.exporthelp.europa.eu/thdapp/display.htm?page=re/re_ClassifyingWood.html&docType=main&languageId=EN&newLanguageId=ES

España. UNE-EN 13171-2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de fibra de madera (WF). Especificación. Aenor 2015.

España. UNE-EN 13168-2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana de madera (WW). Especificación. Aenor 2015.

España. UNE-EN 316-2009 Tableros de fibras, definición, clasificación y símbolos. Aenor 2009.

Espuma de madera, un aislante eficiente y amigable con el medio ambiente [en línea]. Ecosectores, 2014 [consulta 8 mayo 2016]. Disponible en: <https://ecosectores.com/DetalleArticulo/tabid/64/ArticleId/1409/Espuma-de-madera-un-aislante-eficiente-y-amigable-con-el-medio-ambiente.aspx>

Ministerio de Fomento. *CTE DB SE-M: documento básico seguridad estructural, madera*. Madrid, 2009.

MINKE, Gernot, MAHLKE, Friedemann. *Manual de construcción con fardos de paja*. Editorial Fin de Siglo. ISBN 9974-49-361-7

NATKE, Stefan. Gutex. *¿Qué es Gutex? Historia de la empresa, producción, características de nuestros productos*. Gutex, tableros aislantes de madera [correo electrónico]: 20 mayo de 2016

NATKE, STEFAN. Nuevas técnicas en la fabricación de tableros aislantes de fibra de madera. *Revista EcoHabitar*. Teruel 2011, nº29. ISSN 1697-9583

Nuevas técnicas en la fabricación de tableros aislantes de fibra de madera [en línea]. Teruel: revista EcoHabitar, 2012 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.ecohabitar.org/nuevas-tecnicas-en-la-fabricacion-de-tableros-aislantes-de-fibra-de-madera/>

Nuevo proceso: Fabricación en seco. En: Biohauss [web]. Navarra: Biohauss, 2015 [consulta 8 mayo 2016]. Disponible en: http://www.biohaus.es/productos/gutex.php#tec_1

Pavatex. *Aislar con Pavatex* [en línea] [S.l.]: Pavatex, 2009 [consulta: 5 mayo 2016] Disponible en: http://www.ecospai.com/fichas_tecnicas/pavatex_general.pdf

Steico. *Productos para una construcción sana con materiales renovables* [en línea] [s.l.]: Steico, 17 junio 2015 [consulta: 8 mayo 2016] Disponible en: <http://www.distribuciosostenible.com/productes-productos/>

Tableros de fibra duros / semiduros / aislantes [en línea]. AITIM; Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, 2011 [consulta 4 mayo 2016]. Disponible en: http://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_400_Tableros_DUROS_04.07.2011.pdf

■ Paja

EcoHabitar. Bioconstrucción. Paneles de balas de paja prefabricados para la construcción. *EcoHabitar*. Teruel 2011, nº31, pág. 10 ISSN 1697-9583

Fiche Materiau LA PAILLE (ficha técnica) [web]. ARPE Agenc régionale du développement durable [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: https://www.arpe-mip.com/files/EXPO_ECOMAT2008/MA15_fiche_materiau_paille.pdf

MINKE, Gernot, MAHLKE, Friedemann. *Manual de construcción con fardos de paja*. Editorial Fin de Siglo.SBN 9974-49-361-7

Panneau de Paille compressée [web]. Neuvy-Pailloux (Francia): pôleeco construction Limousin [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: http://www.crma-limousin.fr/portals/66/basedoc/Environnement/PANNEAU_DE_PAILLE_COMPRESSEE.pdf

Producción de prefabricados de paja en serie [web] Valencia: Okambuva Coop., 2015 [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: <http://casadepaja.es/produccion-de-prefabricados-de-paja-en-serie/>

Que es bala box [web] Madrid: BalaBox, 2016 [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: <http://bala-box.com/los-bloques/>

TERMENS, Maren. *La alpaca de paja*. En: Casas de paja [web] [s.l.]: Casas de paja, 2015 [consulta 12 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.casasdepaja.org/wiki/aspectos-tecnicos/item/213-la-alpaca-de-paja>

ZECHETTO, Mirco. La prefabricación con paja: llevando la cubierta al cielo. *Brizna* [en línea]. Girona: Boletín de la red de construcción con paja, mayo 2015, 11 págs. Disponible en: <http://www.casasdepaja.org/2013-01-09-19-15-25/brizna-n-16>

■ Arcilla expandida

BERKOWICZ, Michel. *L'argile expansée*. En: futura-sciences [web] [S.l.]: [sn.] [ca. 2015] [Consulta: 19 mayo de 2016] Disponible en: <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dossiers/d/maison-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/page/7/>

COSTA, Nelson. Environmental Product Declaration – Type III, 2010. [Aveiro]: Argex – Argila Expandida, SA [consulta 19 mayo 2016] [correo electrónico]

GARRAÍN, Daniel; et al. *Impacto medioambiental sobre el uso del suelo de las minas de extracción de materias primas cerámicas en el marco del análisis del ciclo de vida* [en línea] Grupo de Ingeniería del Diseño, Dpto. Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I. Disponible en: <http://www.gid.uji.es/sites/default/files/congresos/2010/Impacto%20medioambiental%20sobre%20el%20uso%20del%20suelo%20de%20las%20minas%20de%20extraccion%20de%20materias%20primas%20ceramica%20en%20el%20marco%20del%20análisis%20del%20ciclo%20de%20vida.pdf>

Laterlite. *Laterlite soluciones ligeras. Arcilla expandida y premezclados* [en línea]: Laterlite. 21 junio de 2013 [consulta: 21 mayo 2016] Disponible en: http://amadosalvador.es/wp-content/uploads/downloads/2014/11/Laterlite_cat%C3%A1logo_general.pdf

Laterlite. *Producción* [web], 2015 [Italia]: Laterlite [consulta: 19 mayo 2016] Disponible en: <http://www.laterlite.es/produccion-2/>

Saint-Gobain. *¿Qué es la Arlita Leca?* [En línea], 2016: Weber Saint-Gobain [s.n.] [consulta: 19 mayo 2016] Disponible en: <http://www.weber.es/soluciones-ligeras-con-arlitareg-lecareg/ayuda-y-consejos/que-es-arlitareg-lecareg.html>

■ Lanas minerales

BONNIOT, Nicolas. Lanas minerales. *EcoHabitar*. Olba (Teruel), 2011, nº31, págs. 38 y 39. ISSN 1697-9583

BOSSE-PLATIÈRE, Antoine. Laines de verre ou de roche et santé. En: *terre vivante, l'écologie pratique* [web] [S.l.]: [s.n.], 2015 [Consulta: 31 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.terrevivante.org/473-laines-de-verre-ou-de-roche-et-sante.htm>

España. UNE-EN 13162-2015 Productos aislantes térmicos para aplicación en la edificación. Productos manufacturados de lana mineral (MW). Especificación. Aenor 2013.

España. UNE-EN 14303-2013 Productos aislantes térmicos para equipos en edificación e instalaciones industriales. Productos manufacturados de lana mineral (MW). Especificación. Aenor 2010.

Eurima. *Environmental Product Declaration of Mineral Wool Produced in Europe* [en línea]: Eurima. 16 abril de 2012 [consulta: 26 mayo 2016] Disponible en: http://www.eurima.org/uploads/ModuleXtender/Publications/97/Eurima_EPD_Wall_035_final.pdf

Eurima. *Mineral Wool Putting natural resources to work for the benefit of our planet* [en línea]:

Eurima. 15 marzo de 2013 [consulta: 31 mayo 2016] Disponible en:

<http://www.eurima.org/flipbook/mineralwool/index.html#/18/>

Isover Saint-Gobain. *Catálogo de elementos constructivos ISOVER para la Edificación (según CTE)*.

Guadalajara: Saint-Gobain Cristalería, S.L. - ISOVER, 2013

Producción process. *Eurima* [web] Bruselas: European Insulation Manufactures Association, 2011

[consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process.html>

Qué son - propiedades. *Afelma* [web] Madrid: Asociación de Fabricantes Españoles de Lan

Minerales Aislantes, 2015 [consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en: http://aislar.com/?page_id=2431

ROSER, Costa, et al. Fibras minerales artificiales y aparato respiratorio. *Archivos de bronconeumología* [web] Barcelona: servicio de neumología del Hospital Universitari Autònoma de Barcelona, 2012 [consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en:

<http://www.archbronconeumol.org/es/fibras-minerales-artificiales-aparato-respiratorio/articulo/S0300289612001202/#aff0005>

SOLÉ BONET, J., et al. *Las características ambientales de los productos aislantes para los edificios: caso particular de las lanas minerales* [en línea]. Afelma: 20 de mayo de 2009 [consulta: 26 mayo 2016] Disponible en:

<http://aislar.com/wp-content/uploads/2015/09/noticia-ampliada-impacto-ambiental.pdf>

■ Lana de roca

Naima. *Aislantes de lana de roca y escoria* [en línea] EEUU: Naima, North American Insulation Manufacturers Association, 9 de junio del 2011 [Consulta: 31 de mayo de 2016] Disponible en:

<http://www.rolan.com/wp-content/uploads/2012/12/naima.pdf>

Rockwool. *Soluciones de aislamiento térmico, acústico y contra el fuego. Respuesta a los requisitos del CTE* [en línea] [S.I.]: Rockwool, 2007 [consulta: 31 mayo 2016] Disponible en:

<http://www.brico.com/wood/mineral-wool/pdf/e-mas-informacion.pdf>

Rockwool. *Ficha de instrucciones de seguridad* [en línea] [S.I.]: Rockwool, 2013 [consulta: 1 de junio del 2016] Disponible en:

<http://download.rockwool.es/media/135702/ficha%20de%20seguridad%2001-2013.pdf>

Rockwool. *Tarifa 2016. Precios recomendados* [en línea] [S.I.]: Rockwool, 2015 [consulta: 4 de junio del 2016] Disponible en:

http://download.rockwool.es/media/444219/tarifa_ROCKWOOL_2016_es.pdf

■ Lana de vidrio

GISBERT ALEMANY, Ester. La toxicidad de la fibra de vidrio. En: COR & Asociados y aRRsa. Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.]: [s.n.] [ca. 2015] [Consulta: 26 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.mimbrea.com/la-toxicidad-de-la-fibra-de-vidrio/>

URSA, Grupo Uralita. *Caracterización de la lana mineral de vidrio y su aplicación en edificación* [en línea] Madrid: URSA, Grupo Uralita, 2009 [consulta: 5 de junio del 2016] Disponible en: <http://docplayer.es/2737842-Characterizacion-de-la-lana-mineral-de-vidrio-y-su-aplicacion-en-edificacion.html>

■ Perlita y vermiculita

Bruselas. *Recomendaciones de la comisión de 19 de septiembre de 2003 relativa a la lista europea de enfermedades profesionales*. [En línea] Bruselas: CE, 25 de septiembre de 2003 [consulta: 6 de junio de 2016] Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2003/238/L00028-00034.pdf>

Características físicas de la perlita. En: Perlite [web] EEUU: Perlite Institute, Inc. 2011[Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <https://perlite.org/espanol/PDFs/Caracteristicas-Perlita.pdf>

CE. *Recomendación de la Comisión, de 19 de septiembre de 2003, relativa a la lista europea de enfermedades profesionales*. [En línea] Bruselas: CE, 2003 [consulta: 6 de junio de 2016] Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003H0670:ES:HTML>

España. UNE-EN 13169-2015 Productos aislantes térmicos para aplicación en la edificación. Productos manufacturados de perlita expandida (EPB). Especificación. Aenor 2013.

Grupo PV. *Tarifa 2015*. En: Perlita y vermiculita [web] Barcelona: Perlita y vermiculita, 2015[Consulta 6 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.perlitayvermiculita.com/resources/tarifasycatalogo/TARIFARIO%20Grupo%20PV%202015.pdf>

Hoja informativa sobre sostenibilidad del Instituto de la Perlita. En: Perlite [web] EEUU: Perlite Institute, Inc. 2011[Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <https://perlite.org/espanol/PDFs/HechosSostenibilidad-Perlita.pdf>

Minerales: ¿Para qué sirve la perlita? Los planes de Santa Cruz. En: MiningPress [web] Argentina: D&C Visual S.R.L., 28 de febrero de 2011 [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.miningpress.com/nota/266753>

Perlita para la construcción y otros usos. En: cita.es [web] [S.l.]: [s.n.] 2010 [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <http://cita.es/perlita/>

¿Por qué la Perlita funciona? En: Perlite [web] EEUU: Perlite Institute, Inc. 2011[Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <https://perlite.org/espanol/PDFs/Funciona-Perlita.pdf>

Verlite. *Vermiculita expandida* [en línea] España: Vermiculita y derivados, S.L. [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.vermiculitayderivados.com/wp-content/uploads/2015/11/catalogo-construccion.pdf>

Verlite. *Información técnica* [en línea] España: Vermiculita y derivados, S.L., 2014 [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.vermiculitayderivados.com/wp-content/uploads/2015/11/FICHA-TECNICA.pdf>

Verlite. *Hoja de seguridad. Vermiculita y derivados* [en línea] España: Vermiculita y derivados, S.L., 2011 [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.vermiculitayderivados.com/wp-content/uploads/2015/11/Hoja-de-seguridad-VERLITE-2011.pdf>

What's Europerl Perlite? En: nordiskperlite [web] Dinamarca: Nordisk Perlite ApS, 2014 [Consulta 5 de junio de 2016]. Disponible en: http://www.perlite.dk/english/europerl_perlite.htm

■ Vidrio celular

BERKOWICZ, Michael. *Isolation naturelle: une solution en plein essor. Le verre cellulaire* [web]. [s.l.]: futura-sciences, 7 de noviembre 2009 [consulta: 7 junio 2016] Disponible en: <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dossiers/d/maison-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/page/9/>

Foamglas. *Environmental Product Declaration according to ISO 14025* [en línea] Alemania: Deutsches Institut Bauen und Umwelt e.V. (DIBU), 2013 [consulta: 7 junio 2016] Disponible en: http://www.foamglas.es/_/frontend/handler/document.php?id=2424&type=42

Foamglas Thermal Insulation [vídeo en línea]. Foamglas, 2012 [consulta: 7 junio 2016]. Disponible en Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=lummv_v5zi0

Producción / fabricación. En: Foamglas [web] España: Foamglas building [consulta: 7 junio 2016] Disponible en: <http://www.foamglas.es/es/productos/produccionfabricacion/>

■ Espumas

Armacell. Cuando la humedad pone en peligro el equilibrio de su instalación. Armaflex it – el aislamiento flexible de espuma elastomérica para sistemas de aire acondicionado y refrigeración. En: Armacell Iberia [web] [s.l.]: Armacell, 2001 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <https://l3.cdnwm.com/ip/armacell-iberia-sl-aislamiento-flexible-de-espuma-elastomerica-172545.pdf>

Comparing residencial insulation types. *Naima* [web] Alexandria (Washington): North American Insulation Manufactures Association, 2016 [consulta: 26 mayo 2016]. Disponible en: <http://insulationinstitute.org/im-a-building-or-facility-professional/residential/health-safety/>

DEL SAZ-OROZCO RODRÍGUEZ, Belén. *Formulación y caracterización de espumas fenólicas tipo resol reforzadas con lignosulfonato cálcico y con partículas de "pinus radiata"* [tesis doctoral en línea] Mercedes Oliet Palá y María Virginia Alonso Rubio, dir. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Químicas, 2013 [consulta: 16 junio 2016] Disponible en: <http://eprints.sim.ucm.es/23809/1/T34964.pdf>

El formaldehído. En: Terra, ecología práctica [web] Barcelona: [s.n.], 2005 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <http://www.terra.org/categorias/articulos/el-formaldehido>

España. Resolución de 31 de mayo de 1984 de la Dirección General de Arquitectura y Vivienda, por la que se aprueba el complemento a las disposiciones reguladoras del Sello INCE para materiales aislantes térmicos, referentes a las "espumas de urea-formol producidas insitu". En: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 1984 [consulta 15 junio 2016] Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/1984/07/03/pdfs/A19415-19418.pdf>

España. UNE-EN 13166-2015 Productos aislantes térmicos para aplicación en la edificación. Productos manufacturados de espuma fenólica (PF). Especificación. Aenor 2013.

España. UNE-EN 14313-2011 Productos aislantes térmicos para equipos en edificación e instalaciones industriales. Productos manufacturados de espuma de polietileno (PEF). Especificación. Aenor 2013.

Espuma aislante: los peligros del formaldehído. En: sites.google [web] [s.l.]: [s.n.], 2010 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/espumaaislante/los-peligros-del-formaldehido-1>

IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Soluciones de aislamiento con espumas flexibles. En: IDAE [web] Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2012 [Consulta 20 de junio de 2016]. Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10828_SolucionesAislamientoEspumasFlexibles_A2008_A_a2a58218.pdf

Materiales poliméricos y compuestos. En: Universidad de Oviedo [web] Oviedo: Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales, 2012 [Consulta 20 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/AP.T8.1-MPyC.Tema8.MaterialesPolimericosInteresIndustrial.pdf>

Plásticos, materias primas. En: Universidad de Oviedo [web] Oviedo: Escuela de Ingeniería de Minas, Energía y Materiales, 2004 [Consulta 20 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion8.PLASTICOS.MateriasPrimas.pdf>

Polipropileno. En: general-aislante [web] [s.l.]: [s.n.], [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <http://www.general-aislante.com.ar/poliprop.htm#cara>

Polipropileno. En: Tecnología de los plásticos [web] [s.l.]: [s.n.], 2011 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2011/06/polipropileno.html>

Resinas melamina-formaldehído (MF). En: Tecnología de los plásticos [web] [s.l.]: [s.n.], 2012 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2012/11/resinas-melamina-formaldehido-mf.html>

Resinas urea-formaldehído (UF). En: Tecnología de los plásticos [web] [s.l.]: [s.n.], 2012 [consulta: 15 junio 2016]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2012/11/resinas-urea-formaldehido.html>

■ Poliestireno

¿Qué es el Poliestireno? En: Molduras [web] Huelva: [s.n.] [consulta: 25 junio 2016]. Disponible en: <http://www.molduras.es/contents/es/d78.html>

Reciclado químico. En: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Valladolid [web] Valladolid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales [consulta: 26 junio 2016]. Disponible en: http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_quimico.htm

Reciclado mecánico. En: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Valladolid [web] Valladolid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales [consulta: 26 junio 2016]. Disponible en: http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_reciclado%20mecanico.htm

Reciclado energético. En: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Valladolid [web] Valladolid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales [consulta: 26 junio 2016]. Disponible en: http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pet/reciclado_energetico.htm

■ Poliestireno expandido

BASF. *Styropor. Informaciones técnicas* [en línea] Alemania: BASF, 1998 [consulta: 25 junio 2016] Disponible en: [https://epsfoamprod.com.sharepoint.com/Documents/Informaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20EPS%20-%20Todo%20lo%20que%20necesita%20saber%20acerca%20de%20la%20producci%C3%B3n%20de%20EPS%20\(Poliestireno%20Expandido\).pdf](https://epsfoamprod.com.sharepoint.com/Documents/Informaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%20EPS%20-%20Todo%20lo%20que%20necesita%20saber%20acerca%20de%20la%20producci%C3%B3n%20de%20EPS%20(Poliestireno%20Expandido).pdf)

España. UNE-EN 13163:2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno expandido (EPS). Especificación. Aenor 2015.

España. UNE-EN 14309:2011 Productos aislantes térmicos para equipos en edificación e instalaciones industriales. Productos manufacturados de poliestireno expandido (EPS). Especificación. Aenor 2013.

Fabricación del EPS. En: empoline [web] Madrid: Empoline, 2012 [Consulta: 25 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.empoline.com/fabricacion-poliestireno-expandido.htm>

Fabricación de las placas de EPS [vídeo en línea]. REVCOSpain, 2013 [consulta: 25 junio 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=HhIW7Kn7U9U>

Libro Blanco del EPS. Documento de Antecedentes para la Normalización Europea del EPS. En: ANAPE, Asociación Nacional de Poliestireno Expandido. Bélgica: EUMEPS, 2003 [consulta: 25 junio 2016] Disponible en: <http://www.anape.es/pdf/Libroblanco.pdf>

Producto. En: ANAPE [web] Madrid: ANAPE, 2012 [Consulta: 25 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.anape.es/index.php?accion=producto>

Sundolitt. *Poliestireno extruido. Catálogo de productos para la construcción: aislamiento y aligeramiento*. En: Sundolitt [web] Madrid: Sundolitt, 2008 [Consulta: 25 de junio de 2016]. Disponible en: http://www.sundolitt.es/download.aspx?object_id=4BCFE258DD1E4AB3B4F0FA8BA5DE434F.pdf

■ Poliestireno extruido

Aislamiento. Eficiencia energética de la edificación en el horizonte 2020 [en línea]. Valencia: AIMPLAS, Instituto Tecnológico del Plástico, nº 42, junio 2012 [consulta 25 junio 2016]. Depósito legal V-667-2000. Disponible en: http://www.aimplas.es/boletin/42/AIMPLASINFO_N42.pdf

BASF. *Styrodur. Datos técnicos. Aplicaciones recomendadas* [en línea] Barcelona: BASF, 2015 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: http://www2.basf.de/basf2/img/produkte/kunststoffe/styrodur/downloads2/es/styrodur_aplicaciones_recomendadas_y_datos_tecnicos.pdf

ChovA. *Catálogo general de productos* [en línea] Valencia: ChovA, 2016 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: <http://chova.com/documentacion/catalogos/catalogo-general.pdf>

DANOSA. *Aislamiento térmico XPS. DANOPREN TR. Ficha técnica* [en línea] Guadalajara: DANOSA, 2016 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: file:///C:/Users/Vero/Downloads/484003_ftecnica_1_1.pdf

DANOSA. *Tarifa de precios. Abril 2016* [en línea] Guadalajara: DANOSA, 2016 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: <file:///C:/Users/Vero/Downloads/DANOSA-descTarifa-DESC-1.pdf>

Descripción y propiedades del XPS. En: AIPEX [web] Barcelona: AIPEX, 2011 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: http://www.aipex.es/poli_desc_es.php?s=5#

España. UNE-EN 13164:2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno extruido (XPS). Especificación. Aenor 2015.

Fibran XPS. Catálogo de producto. Poliestireno extruido, aislamiento térmico FIBRANxps [en línea] Ovar, Portugal: Fibran XPS, 2015 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: http://fibran.com.es/files4users/files/CatFIBRAN%20ES_2015.pdf

Fibran XPS. *Fibran XPS ETICS GF. Ficha técnica* [en línea] Ovar, Portugal: Fibran XPS, 2015 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: <http://fibran.com.es/files4users/files/TDS/1 ES/14 ETICS%20GF ES 20062015.pdf>

Fibran XPS. *Fibran XPS MAESTRO. Ficha técnica* [en línea] Ovar, Portugal: Fibran XPS, 2015 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: <http://fibran.com.es/files4users/files/TDS/1 ES/11 MAESTRO%20 ES 20062015.pdf>

GONZÁLEZ, Penélope. Poliestireno Extruido (XPS). En: Fenercom [web] Barcelona: Aipex, 2012 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: http://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/12-10-04_Jornada%20sobre%20Materiales%20Aislantes%20y%20Eficiencia%20Energ%C3%A9tica%20en%20los%20Edificios/Poliestireno-extruido-AIPEX-fenercom-2012

URSA. *Lista de precios recomendados. Marzo 2016* [en línea] Tarragona: URSA, 2016 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: http://www.ursa.es/es-es/productos/Documents/Tarifa_2016.pdf

URSA. Thermal and acoustic insulation [en línea] Tarragona: URSA, 2015 [consulta: 27 junio 2016] Disponible en: <http://www.ursa.es/es-es/productos/Documents/export-ursa-2015.pdf>

■ Poliuretano

Asepeyo. *Riesgo de exposición a isocianatos* [en línea] España: Asepeyo, Prevención, 2005 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.ladep.es/ficheros/documentos/HAQ0504012%2520Riesgo%2520de%2520exposici%25C3%25B3n%2520a%2520isocianatos.pdf>

Atepa. *Libro blanco del poliuretano proyectado e inyectado* [en línea] Madrid: AISLA, Asociación de Instaladores de Aislamiento, marzo 2016 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.atepa.org/PUR.pdf>

Atepa. *Poliuretano proyectado. Gama de productos y sus aplicaciones* [en línea] España: Atepa, 2012 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.atepa.org/pictures/pdf/58.pdf>

BASF. *Poliuretano proyectado. Celda cerrada vs celda abierta. Apariencia similar, prestaciones diferentes* [en línea] Barcelona: BASF, 2013 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.atepa.org/pictures/pdf/59.pdf>

Colaboradores de Wikipedia, 2016. Poliuretano. En: Wikipedia, *la enciclopedia libre* [en línea] actualización 26 de mayo de 2016 [consulta: 13 junio de 2016]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Poliuretano>

Composición y producción del poliuretano. En: polyurethanes [web] [S.l.]: ISOPA, 2016 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.polyurethanes.org/es/other-2/acerca-de-esta-pagina-web>

Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid. *Espuma de poliuretano: uso como aislante industrial*. En: UVA [web] Valladolid: [s.n.] 2006 [consulta: 13 junio de 2016]. Disponible en: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso05-06/pu/espuma.htm>

Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid. *Problemas medioambientales del poliuretano*. En: UVA [web] Valladolid: [s.n.] 2004 [consulta: 13 junio de 2016]. Disponible en: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/PU/poliuretano.htm>

Historia del poliuretano. En: polyrethanes [web] [S.l.]: ISOPA, 2016 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.polyurethanes.org/es/que-es/historia>

Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo (España). *Ficha técnica polímero base. Poliuretanos* [en línea] España: INSHT, 2007 [consulta: 13 junio 2016]

IPUR. *Influencia del contenido de celda cerrada en las propiedades del poliuretano proyectado* [en línea] IPUR, Asociación de la Industria del Poliuretano Rígido, 2011. [Consulta: 13 junio del 2016]. Disponible en: <http://www.atempa.org/pictures/pdf/16.pdf>

Nuevas salidas en el reciclaje del poliuretano de las suelas de los zapatos. En: CTR Mediterráneo [web] Castellón: CTR Mediterráneo, 2014 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.ctrmediterraneo.com/nuevas-salidas-en-el-reciclaje-del-poliuretano-de-las-suelas-de-los-zapatos/>

Poliuretano proyectado [vídeo en línea]. Polypur, 2011 [consulta: 12 junio 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=8AvwOwpW8bE>

Producción de espuma de poliuretano espumas medellin S.A. [vídeo en línea]. Espumas Medellín, S.A., 2010 [consulta: 12 junio 2016]. Disponible en Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=DRBFo3kxy4s>

Producción espuma poliuretano En: Trepol, S.A. [web] Toledo, 2016 [Consulta 13 de junio de 2016]. Disponible en: http://www.tepolsa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=2

PU europe, excellence in insulation. *Aislamiento de poliuretano y gestión de residuos en el contexto de la eficiencia de los recursos* [en línea] PU europe, excellence in insulation, 2013 [Consulta: 13 junio del 2016]. Disponible en: <http://www.atempa.org/pictures/pdf/66.pdf>

- Otros aislantes
- Cañas

GÜNTHER, Stephan. Schilf - ökologisch und ökonomisch eine sehr gute Dämmung. En: energieheld. Einfach energetisch sanieren. [web] [S.l.:sn.] [Consulta: 22 de mayo de 2016] Disponible en: <http://www.energieheld.de/daemmung/daemmstoffe/schilf>

Phragmites australis. *Wikipedia: la enciclopedia libre* [en línea] 4 enero 2016 [consulta: 22 mayo 2016]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Phragmites_australis

SLICHTER, Paul. Common Reed. *Phragmites australis ssp. australis* [web] [S.l.:sn.] 13 mayo 2013 [Consulta: 22 de mayo de 2016] Disponible en: <http://science.halleyhosting.com/nature/basin/poaceae/phragmites/phragmites.html>

■ Cascarilla de arroz

ALFÉREZ RIVAS, Luis Ernesto. Selección de un proceso para la producción de tableros aglomerados a base de cascarilla de arroz [en línea] Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano, 2013 [consulta 25 mayo 2016] Disponible en:

http://www.academia.edu/5025400/SELECCI%C3%93N_DE_UN_PROCESO_PARA_LA_PRODUCCION_DE_TABLEROS_AGLOMERADOS_A_BASE_DE_CASCARILLA_DE_ARROZ

M.D., Jaime Gutiérrez, et al. Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces cerevisiae*. *Revista de la sociedad brasileña de ciencias mecánicas e ingeniería*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 2014, vol.81, no.184. ISSN 0012-7353

■ Diatomeas

Aislamiento térmico. En: cekesa [web] [s.l.]: cekesa, 2015 [consulta 4 julio 2016] Disponible en: <http://www.cekesa.es/aplicaciones.swf>

Perfil de mercado de la diatomita [en línea] México: Coordinación General de Minería, 2013 [Consulta 4 julio 2016] Disponible en: http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_diatomita_1013.pdf

Usos industriales de las algas diatomeas [en línea] Madrid: Universidad de Alcalá, 2008 [Consulta 4 julio 2016] Disponible en: <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/7994/Diatomeas2.pdf?sequence=1>

■ Paneles aislantes de micelio

CUIÑAS CONDE, José. *Fungi-insulated. Aislamiento con hongos*. En: slideshare [web] A Coruña: ETSAC, 2015 [Consulta 14 marzo 2016] Disponible en: <http://es.slideshare.net/RubnUlloaMontes/aislamiento-de-hongos>

Diseño de prototipos de materiales biosintéticos para su uso como materiales de construcción [en línea]. Madrid: Fundación Mapfre, Seguridad y Medio Ambiente, 2013 [Consulta 14 marzo 2016]. ISSN: 1888-5438. Disponible en: <http://www.seguridadypromociondelasalud.com/n132/docs/Seguridad-y-Medio-Ambiente-132-es.pdf>

Grupo temático de los Hongos. Concepto del grupo y diversidad. Estudio de la división Eumicota. Los hongos saprófitos, parásitos y simbióticos su papel en los ecosistemas [en línea]. Granada: Universidad de Granada [Consulta 14 marzo 2016] Disponible en: <http://www.ugr.es/~mcasares/Utilidades/Hongos.htm>

Guía micológica [en línea]. Soria: Asociación micológica El Royo, 2010 [Consulta 14 marzo 2016]
Disponible en: http://www.amanitacesarea.com/guia_ecologia3.html

Micelio de hongos para la construcción [vídeo en línea]. Laboratorio de biotecnología de hongos comestibles y medicinales, 2015 [consulta: 14 marzo 2016]. Disponible en:
<http://lbhcymcerzos.wix.com/lbhcymcerzos#!Micelio-de-hongos-para-la-construcci%C3%B3n/cay8/2>

RODRÍGUEZ GLAVEZ, Helena. Hongos y desechos agrícolas en la construcción. Ecoactive Desing. En: COR & Asociados y aRRsa! Plataforma Creativa. *Mimbrea: sostenibilidad, eficiencia y ecoconstrucción para tu vivienda* [web] [S.l.:sn.] [ca. 2013] [consulta: 14 de marzo de 2016] Disponible en:
<http://www.mimbrea.com/hongos-y-desechos-agricolas-en-la-construccion-ecovative-design/>

■ Plantas marinas: posidonia oceánica

Algas como aislante para la construcción. En: Cordis, Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo (Comisión Europea) [sitio web]. [S.l.]: [s.n.], 2013 [Consulta: 10 abril del 2016]. Disponible en: http://cordis.europa.eu/news/rcn/35568_es.html

Der Rohstoff. En: Neptutherm [sitio web]. [S.l.]: [s.n.], 2012 [Consulta: 13 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.neptutherm.com/phpwcms/index.php?rohstoff>

Las algas pueden ser un buen aislante térmico para edificios. *Energium* [en línea] Madrid: Energium, 2013 [Consulta: 28 marzo del 2016]. Disponible en: <http://energium.es/las-algas-pueden-ser-un-buen-aislante-termico-para-edificios/>

Las algas, un aislante ecológico en edificios inteligentes. *EcoHabitar* [en línea] Olba (Teruel): EcoHabitar Visiones sostenibles, 2016 [Consulta: 28 marzo del 2016]. Disponible en:
<http://www.ecohabitar.org/las-algas-un-aislante-ecologico-en-edificios-inteligentes/>

Life Reusing Posidonia Project. *Program Life (European Commission)* [en línea] [s.l.]: [s.n.], 2013 [consulta: 28 de marzo de 2016] Disponible en: <http://reusingposidonia.com/>

Posidonia oceánica como aislante en viviendas protegidas en Formentera. *EcoHabitar* [en línea] Olba (Teruel): EcoHabitar Visiones sostenibles, 2014 [Consulta: 12 abril del 2016]. Disponible en:
<http://www.ecohabitar.org/posidonia-oceanica-como-aislante-en-viviendas-protegidas-en-formentera/>

RUÍZ, Miguel Ángel. Posidonia oceánica: del fondo marino al tabique. En: *Los pies en la tierra* [sitio web]. Murcia: La Verdad Multimedia, S.A., 2013 [consulta: 5 de abril del 2016] Disponible en:
<http://lospiesenlatierra.laverdad.es/blog/2571-posidonia-oceanica-del-fondo-marino-al-tabique>

Seaweed under the roof. En: Fraunhofer [sitio web]. [S.l.]: [s.n.], 2013 [Consulta: 13 abril del 2016]. Disponible en: <http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2013/march/seaweed-under-the-roof.html>

■ Plumas de aves

BERKOWICZ, Michael. Isolation naturelle: une solution en plein essor. La laine de plume [web]. [s.l.]: futura-sciences, 7 de noviembre 2009 [consulta: 30 abril 2016] Disponible en: <http://www.futura-sciences.com/magazines/maison/infos/dossiers/d/maison-isolation-naturelle-solution-plein-essor-906/page/5/>

Colaboradores de Wikipedia, 2015. Somateria mollissima. En: Wikipedia, la enciclopedia libre [en línea] actualización 16 marzo 2015 [consulta: 13 junio 2016]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Somateria_mollissima